



Paavo Hurskainen

## **Kallioperätutkimusten vaikutus tunnelihankkeiden rakentamiskustannuksiin**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 26.9.2014

Valvoja: Professori Mikael Rinne

Ohjaaja: Päivi Castrén

---

**Tekijä** Paavo Hurskainen

---

**Työn nimi** Kallioperätutkimusten vaikutus tunnelihankkeiden rakentamiskustannuksiin

---

**Laitos** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos

---

**Professuuri** Kalliorakentaminen

---

**Professuurikoodi** Rak-32

---

**Työn valvoja** Prof. Mikael Rinne

---

**Työn ohjaaja** DI Päivi Castren

---

**Päivämäärä** 26.09.2014

**Sivumäärä** 56+5

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Kalliorakennushankkeissa urakkalaskentavaiheessa arvioitu urakkahinta saattaa ylittyä rakentamisen aikana. Tämän ylityksen ajatellaan usein johtuvan siitä, että rakennusvaiheessa todettu kalliolaatu on huonompaa, kuin kallioperätutkimusten perusteella on oletettu. Kalliolaadun poikkeamat voivat johtaa ennakoimattomiin lujitus- ja injektointitöihin, jotka aiheuttavat lisätyövaateita urakoitsijalta tilaajalle.

Tässä työssä tutkittiin Suomessa toteutettuja louhintaurakoita ja selvitettiin niistä tilastoidun aineiston perusteella, kuinka kallioperätutkimukset vaikuttavat hankkeen rakentamiskustannuksiin. Työssä keskityttiin erityisesti kallionäytekairauksiin ja kallioteknisistä syistä johtuviin lisätyövaateisiin. Työ pyrki selvittämään, miten paljon tutkimuksia tulisi tehdä, jotta kalliolaadun poikkeamasta johtuvat ongelmat saataisiin ehkäistyä.

Kallioperätutkimusten laadun ja määrän vaikutusta urakkalaskentaan tutkittiin haastattelemalla suomalaisia pääkaupunkiseudulla toimivia kalliorakennusurakoitsijoita. Haastattelujen perusteella kallioperätutkimuksia tulisi tehdä sen verran, että muutokset ennustetun ja toteutuneen kalliolaadun välillä eivät aiheuta merkittäviä lisäkustannuksia urakoitsijalle. Tutkimusten perusteella havaitut heikkousvyöhykkeet tulisi myös esittää selkeästi urakkalaskenta-aineistossa.

Tässä työssä tilastoidun tiedon perusteella kallioperätutkimuksilla on tarkentava vaikutus tilaajan kustannusennusteeseen. Todetun kalliolaadun poikkeaminen ennustetusta lisää kallioperäteknisistä syistä aiheutuvien lisätöiden määrää. Kallioperätutkimusten ja lisätöiden välillä yhteyttä ei havaittu. Johtopäätöksiä ei voitu todentaa tilastollisesti riittämättömän otoskoon takia.

Suurin olosuhteiden poikkeamista aiheutuva kustannuksia nostava tekijä on urakan aikataulun pidentyminen. Tulevissa hankkeissa kallioperätutkimukset tulisi suorittaa ja niiden tulokset esittää siten, että louhintatyön aikana aiheutuisi mahdollisimman vähän hankkeen aikataulua pidentäviä louhinnan aikaisia lujitus- ja injektointitöitä. Lisäksi tutkimuksilla pitäisi ehkäistä täysin odottamattomien ja kustannuksiltaan merkittävien olosuhdepoikkeamien kohtaaminen.

---

**Avainsanat:** kalliorakentaminen, kallioperätutkimus, kallionäytekairaus, lisätyöt

---

---

**Author** Paavo Hurskainen

---

**Title of thesis** The influence of subsurface investigations to the completion cost of tunnelling projects

---

**Department** Department of Civil and Environmental Engineering

---

**Professorship** Rock Engineering

---

**Code of professorship** Rak-32

---

**Thesis supervisor** Professor Mikael Rinne

---

**Thesis advisor** MSc. Päivi Castrén

---

**Date** 26.09.2014

---

**Number of pages** 56+5

---

**Language** Finnish

---

## Abstract

During the construction phase of a tunneling project (including rock excavation) the contract sum may be exceeded. Often this excess is thought to be caused by poor rock quality not predicted in the results of the original subsurface investigations. The difference from the original estimate may lead to unpredicted grouting and rock support work, leading the contractor to claim for loss due to discrepancies in the contract.

This research encompasses underground excavations in Finland. The research was carried out to find out how construction costs are affected by subsurface investigations conducted prior to construction work. The research concentrates especially in core drilling and claims by contractors due to bad rock quality not evident in the original bid. The aim was to find out how much subsurface investigations should be carried out to prevent the problems caused by unpredicted bad rock quality.

The effect of the quality and amount of subsurface investigations to tendering was researched by interviewing Finnish contractors who carry out projects in the Capital Region of Finland. Based on the interview it was found out that the amount of subsurface investigations should be high enough to prevent excess costs due to unpredicted bad rock quality. The contract documents should include and clearly present all detected weakness zones.

The results show a positive relation between subsurface investigations and the accuracy of the project owners' cost estimate. Differentiation between the predicted and actual rock quality increases the amount of claims due to unpredicted bad rock quality. No relation between subsurface investigations and the amount of claims was detected. The results are statistically indifferent due to limited amount of sample projects available.

The most significant factor adding to construction costs caused by unpredicted rock conditions is the increase in project completion time. In the future, subsurface investigations should concentrate on providing results that can prevent this increase. Furthermore, the investigations should be carried out to minimize unexpected rock conditions during excavation.

---

**Keywords:** rock engineering, subsurface investigations, rock core drilling, claims

---

## Alkusanat

Tämän työn aihe ponnahti ilmoille jo syksyllä 2013, kun mietimme Janniksen kanssa askeleita kohti valmistumistani. Innostuin aiheesta välittömästi, kuitenkin ymmärtämättä, kuinka monimutkaisesta asiasta todellisuudessa on kyse. Työn ovat keväällä 2014 tilanneet ja rahoittaneet HSY (Helsingin seudun ympäristöpalvelut) ja Länsimetro Oy.

Nyt, kun työ on valmis, on ilo muistella koko prosessia. Työn aikana olen ainakin oppinut vahvuuksistani ja heikkouksistani oman itseni projektipäällikkönä, sekä työntekijänä. Lisäksi olen oppinut, että päivässä pystyy juomaan melko monta kuppia kahvia, ja silti väsyttämään.

Haluaisin kiittää ohjausryhmääni,

- Jukka Yli-Kuivilaa (HSY)
- Tero Palmua (Länsimetro Oy)
- Päivi Castrénia (Sito Oy, ohjaaja)
- Jannis Mikkolaa (Sito Oy)
- Mikael Rinnettä (Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, valvoja)

aidosta mielenkiinnosta työn etenemistä kohtaan. On ollut todella mielekästä saattaa sovitut asiat valmiiksi kokouksiin mennessä, kun kaikki em. henkilöt ovat olleet valmiita lukemaan ja kommentoimaan myös keskeneräistä teosta.

Erityisesti haluan kiittää Jukkaa ja Teroa, jotka omalta osaltaan ovat myötävaikuttaneet mahdollisuuteeni tehdä diplomityöni juuri kallioperätutkimuksiin liittyen. Haluan kiittää Päiviä ja Jannista, jotka ovat olleet tavoitettavissani lähes päivittäin ja valmiita vastaamaan diplomityöhön liittyviin kysymyksiini. Haluan kiittää Mikaelia, joka on erityisesti edesauttanut lähestymään aihetta aina hieman tieteellisemmältä, faktapohjaisemmalta kannalta.

Lisäksi haluan kiittää Jukka Pöllää, jonka kanssa käydyt keskustelut ovat sysänneet minut lähestymään aihetta näkökannoilta, joita en itse olisi välttämättä tajunnut, ja koko Siton kalliotilat- ja tunnelit- osaston henkilökuntaa, jotka ovat väsymättä jaksaneet tiedustella valmistumispäivääni.

Viimeiseksi haluan kiittää Nelliä siitä tuesta, jota olen saanut aina epäröinnin hetkellä.

Espoossa 26.09.2014

Paavo Hurskainen

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	5
Keskeiset termit ja lyhenteet	7
1 Johdanto	8
1.1 Tutkimuksen tausta	8
1.2 Tutkimusongelma ja työn tavoitteet	8
1.3 Tutkimuksessa käytetty aineisto	9
1.4 Tutkimusmenetelmät	9
1.5 Työn rakenne ja rajaukset	10
2 Maanalaisten hankkeiden kustannusrakenne	11
2.1 Maanalaisten hankkeiden erityispiirteet	11
2.2 Kustannusten kehitys hankkeen aikana	12
2.2.1 Kustannusylitys	14
2.3 Kustannusten kehitys rakennusvaiheessa	14
2.4 Kallioperäteknisistä syistä johtuvien lisäkustannusten osuus	15
3 Kallioperätutkimukset ja niiden vaikutus hankkeen kustannuksiin	18
3.1 Kallioperätutkimusten merkitys	18
3.1.1 Tutkimusten merkitys vesistön alittavissa tunneleissa	19
3.2 Kallioperätutkimusten vaiheistaminen	19
3.3 Epävarmuudet kallioperaännusteissa	20
3.3.1 Tulkinna aiheuttamat epävarmuudet	21
3.3.2 Tutkimusmenetelmien epävarmuudet	22
3.3.3 Tutkimusten ja ennusteen paikkansapitävyyden korrelaatio	22
3.4 Kallioperätutkimusten kustannukset	23
3.5 Kallioperätutkimusten tarvittava määrä	25
3.6 Yhteenveto	26
4 Kallioperätutkimusten merkitys urakoitsijan näkökulmasta	27
4.1 Taustaa	27
4.2 Tutkimusasetelma	28
4.3 Tarjouslaskennan tavoite ja prosessi	28
4.4 Kallioperätutkimusten vaikutus urakkalaskentaan	29
4.5 Muiden tekijöiden vaikutus urakkalaskentaan	29
4.6 Urakkalaskenta-aineiston laatu	30
4.7 Lisätöihin varautuminen	30
4.8 Lisäkustannusten syntyminen	31
4.9 Yhteenveto	31
5 Kallioperätutkimukset, tutkimuskustannukset ja rakentamiskustannukset Länsimetro –hankkeessa	33
5.1 Yleistä	33
5.2 Tarkasteltavat urakat	33
5.3 Kallioperätutkimukset Länsimetro-hankkeessa	35
5.3.1 Kallionäytekairaukset	36
5.4 Kairasydänmetrien ja lisätöiden korrelaatio	38
5.5 Ennustetun ja todetun kalliolaadun ero	39
5.5.1 Lujitusluokkien muutokset suhteessa tutkimusmääriin	41
5.5.2 Lujitusluokkien muutokset suhteessa ennustettuun kalliolaatuun	42

5.5.3	Lujitusluokkien muutosten vaikutus lisätöiden määrään .....	43
5.6	Tutkimuskustannukset.....	44
5.7	Kallionäytekairausten vaikutus kustannusennusteeseen .....	45
5.8	Tutkimusten, kalliolaadun ja lisätöistä aiheutuneiden kustannusten suhde tutkituissa urakoissa .....	46
5.9	Lisätöiden kustannusten jakautuminen .....	48
6	Päätelmiä tutkitun aineiston pohjalta .....	50
7	Johtopäätökset.....	53
	Lähdeluettelo.....	54
	Kirjalliset lähteet .....	54
	Tiedonannot ja haastattelut .....	55
	Sähköiset lähteet.....	56
	Liitteet	

## **Keskeiset termit ja lyhenteet**

### **GSI**

Geological Strength Index

### **GTK**

Geologian tutkimuskeskus

### **Lisätyö**

Urakoitsijan suoritus, joka urakkasopimuksen mukaan ei alunperin kuulu hänen suoritusvelvollisuuteensa. (RT 16-10660, 1998)

### **Olosuhdemuutos**

Tässä työssä olosuhdemuutoksella tarkoitetaan sitä, kun työn aikana todetut kallioperä- tai pohjavesiolosuhteet poikkeavat tutkimusten pohjalta tehdystä ennusteesta.

### **Q-luku**

Kallion laatuluku, jota käytetään mm. lujitusmäärien arviointiin.

### **RG-luokitus**

Rakennusgeologinen luokitus

### **RMi**

Rock mass index

### **RMR**

Rock mass rating

### **RQD**

Rock Quality Designation

### **Tilaaja**

Urakoitsijan sopimuskumppani, joka on tilannut urakkasuorituksen. Tilaajana voi toimia rakennuttaja tai urakoitsija (RT 16-10660, 1998)

### **Urakkasopimus**

Tilaajan ja urakoitsijan välinen allekirjoitettu asiakirja tietyn työntuloksen aikaansaamiseksi sovittua hintaa tai veloitusperustetta vastaan. (RT 16-10660, 1998)

### **Urakoitsija**

Tilaajan sopimuskumppani, joka on sitoutunut aikaansaamaan sopimusasiakirjoissa määritellyn työntuloksen (RT 16-10660, 1998)

# 1 Johdanto

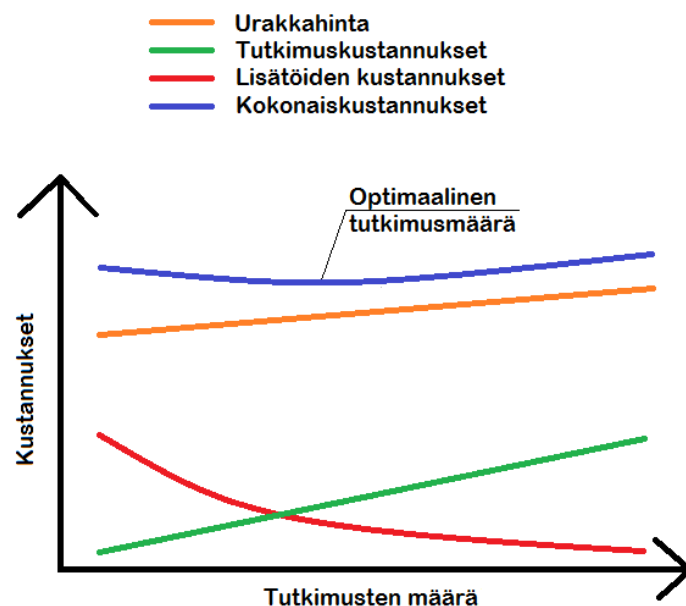
## 1.1 Tutkimuksen tausta

Kalliorakennushankkeiden ja infrahankkeiden toteutusvaiheessa saatetaan joutua tilanteeseen, jossa urakkalaskentavaiheessa arvioitu urakkahinta ylittyy. Kalliorakentamisessa tämän ylityksen ajatellaan usein johtuvan siitä, että rakennusvaiheessa todettu kalliolaatu on ollut huonompaa kuin ennustettu kalliolaatu. Usein tämä johtaa työnkeskeyttäviin lujitus- tai injektointitöihin. Näiden ennakoimattomien töiden seurauksena hankkeen aikataulu venyy mikä johtaa urakoitsijan lisäaika- ja lisätyövaateisiin. Lopulta tilaaja joutuu lisätöiden takia maksamaan urakasta enemmän, kuin on alun perin suunnitellut. Kalliorakennushankkeissa joskus tapahtuvaan kustannusylitykseen on kuitenkin useita vaikuttavia tekijöitä, joista todetun kalliolaadun poikkeaminen ennusteesta on vain yksi. Kalliolaadun muutoksista johtuvat lisätyöt vaikuttavat hankkeen louhintakustannuksiin. Suurissa kalliotiloissa louhinta- ja lujitustöiden osuus on tyypillisesti 20–50 % hankkeen kokonaiskustannuksista (MTR, 1988).

Ennen louhintaurakan alkamista kalliolaatua arvioidaan kallioperätutkimuksilla, jotka toteutetaan hankkeen suunnitteluvaiheissa. Täydellinen kuva kallioista saadaan kuitenkin vasta louhinnan yhteydessä ja tutkimuksiin perustuva arvio on aina jonkin verran poikkeava todellisuudesta. Tunnelleita kartoitettaessa havaitaankin usein, etteivät kartoitettu ja ennustettu kalliolaatu aina kohtaa. Tässä työssä selvitetään, kuinka paljon kallioperätutkimuksia tarvitaan, jotta hankkeen kokonaiskustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi.

## 1.2 Tutkimusongelma ja työn tavoitteet

Työn tavoite on selvittää, kuinka paljon projektissa pitäisi tehdä kallioperätutkimuksia yksinkertaista tunnelilouhintaa ajatellen, jotta kalliolaatu pystytään ennalta määrittämään niin tarkasti, että toteutuvien tutkimuskustannusten ja rakentamiskustannusten summa pystytään minimoimaan.



Kuva 1: Tutkimushypoteesi.



Kuvassa 1 on esitetty tämän työn tutkimushypoteesi: Kun maanalaista tunnelihanketta varten tehdään riittävä määrä kallioperätutkimuksia, niin jossain vaiheessa saavutetaan piste jossa tutkimuskustannusten, urakkahinnan ja työn aikana aiheutuvien lisäkustannuksien summa on pienin mahdollinen. Hypoteesi perustuu seuraavanlaisiin oletuksiin:

- Suurempi kallioperätutkimusten määrä parantaa kallioperäennustetta ja pienentää urakan aikana aiheutuvien lisätöiden määrää.
- Lisätöitä aiheutuu sitä vähemmän, mitä enemmän kallioperätutkimuksia on suoritettu ja mitä lähempänä todellisuutta kallioperätutkimusten perusteella tehty kallioperäennuste on.
- Urakahinnan oletetaan kasvavan tutkimusmäärän kasvaessa, koska
  - jos ei tiedetä, minkälaista kalliota hankkeen alueella on, niin urakoitsija yleensä olettaa sen hyväksi
  - jos tiedetään, minkälaista kalliota hankkeen alueella on, niin urakoitsija olettaa sen tutkimustulosten mukaiseksi.
- Lisätöistä aiheutunut aikataulun pidentyminen sisältyy lisätöiden kustannuksiin.
- Lisätöistä aiheutuva aikataulun pidentyminen on kalliimpaa, kuin suunniteltu työ, koska on todennäköisempää, että lisätyöllä on työn keskeyttävä vaikutus, johon ei ole varauduttu, jolloin työmaan ylläpidosta syntyy urakoitsijalle odottamattomia kustannuksia.

Vastatakseen työlle asetettuun tavoitteeseen, on työlle asetettu seuraavanlaisia tutkimuskysymyksiä:

- Millainen on kallioperätutkimusten perusteella arvioidun ja työn aikana kartoitetun kalliolaadun korrelaatio?
- Onko tutkimusmäärällä vaikutusta kustannusarvion tarkkuuteen?
- Mikä on kustannusvaikutus, kun kallioperän olosuhteet poikkeavat ennusteesta?
- Kuinka paljon tutkimuksia kalliorakennushankkeessa tarvitsee tehdä, jotta hyöty kustannuksia ajatellen on mahdollisimman suuri?

### **1.3 Tutkimuksessa käytetty aineisto**

Tutkimuksessa on käytetty rakenteilla olevan Länsimetron Ruoholahti – Matinkylä -osuuden louhintaurakoiden aineistoa. Käytettävissä on ollut Länsimetron projektipankki, joka sisältää urakkalaskentapiirustukset, tutkimuspiirustukset, tutkimusraportit ja toteutuspiirustukset kaikista Länsimetron urakoista. Taloudellinen loppuselvitys on tutkimuksen tekohetkellä ollut valmiina viidestä urakasta, joiden analysointiin tässä työssä pääasiassa keskitytään. Lisäksi aineistoa on saatu Länsimetron tutkimusohjelmien laskutusluettelosta.

Muuhun tiedonhankintaan on käytetty Aalto-yliopiston kirjastoa, tutkimustietokantoja, sekä internetiä. Lisäksi tutkimukseen on haastateltu keväällä 2014 tunnelinlouhintaurakoiden eri osapuolia.

### **1.4 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimus koostuu kirjallisuustutkimuksesta, kvalitatiivisesta haastattelututkimuksesta ja analyttisestä osasta, jossa perehdytään Länsimetron louhintaurakoiden aineistoon. Kirjallisuustutkimuksessa perehdytään aiheeseen liittyviin aikaisemmin suoritettuihin tutkimuksiin ja standardeihin.

Työn kvalitatiivisessa osassa haastatellaan kolmea pääkaupunkiseudulla toimivaa louhintaurakoitsijaa. Haastattelut nauhoitetaan, litteroidaan ja kysymyksiin saadut vastaukset jäsennellään kokonaisuudeksi, jonka tarkoituksena on selvittää urakoitsijoiden suhtautumista kallioperätutkimuksiin, urakkalaskentaan ja lisätöihin.

Analyttisessä osassa käsitellään tätä työtä varten luovutettua aineistoa. Tiedot taulukoidaan ja eri muuttujien, kuten kalliolaadun, tutkimusmäärän ja kustannusten välille haetaan riippuvuuksia.

Kuvaajissa käytetyt tutkimusmäärät on saatu yhdistämällä urakoiden urakkalaskentapaketin kuvien ja tutkimusraporttien sisältämät tutkimukset. Hanke- ja rakennesuunnitteluvaiheen sydämkairausmääristä osa oli valmiiksi taulukoitu kustannuksineen ja urakoiden loput kairametrit on laskettu tutkimusraporttien perusteella ja kairausten hintana on käytetty urakoiden valmiiksi taulukoitujen tutkimusten keskimääräistä metrihintaa. Urakoista on tarkasteltu ne, joista taloudellinen loppuselvitys on ollut saatavilla työn aikana.

## **1.5 Työn rakenne ja rajaukset**

Työn tutkimusosa on rajattu koskemaan Länsimetron tiettyjä louhintaurakoita. Tulokset ovat kuitenkin hyödynnettävissä tunnelihankkeisiin Suomessa. Tutkimusten osalta työ keskittyy erityisesti kallionäytekairauksiin ja hankkeiden osalta tunneliurakoihin.

Työ alkaa kirjallisuusosalla (Luvut 2-3), joissa esitetään aiheeseen liittyviä aiemmin tehtyjä tutkimuksia. Luvussa 2 kuvataan kirjallisuuden pohjalta

- maanalaisen hankkeen piirteitä,
- maanalaisen hankkeen vaiheita ja
- tyypillistä maanalaisen hankkeen kustannuskehitystä ja kustannusrakennetta.

Luvussa 3 kuvataan kirjallisuuden pohjalta tutkimusten vaikutusta kustannuksiin. Lisäksi luvussa pohditaan

- miksi kallioperätutkimuksia tehdään
- miten tutkimuksia pitäisi tulkita, jotta niiden teettämisellä olisi mahdollisimman paljon hyötyä.
- kuinka paljon tutkimuksia tulisi tehdä, jotta niistä voidaan riittävän hyvällä todennäköisyydellä tehdä tarpeeksi luotettava kalliolaatuennuste.

Työn toinen osa (Luku 4) kokoaa yhteen tämän työn kannalta oleelliset asiat, jotka ovat tulleet esille suoritetuissa haastatteluissa.

Työn tutkimusosassa (Luku 5) analysoidaan Länsimetro –hankkeesta saatua aineistoa. Aineistoa verrataan sekä tutkimusten, että ekonomiselta kannalta.

Työn lopussa (Luvut 6-7) esitetään tutkimustulosten soveltaminen tuleviin kalliorakennushankkeisiin. Lisäksi esitetään tehdyt johtopäätökset ja suositukset mahdollista lisätutkimusta varten.

## 2 Maanalaisten hankkeiden kustannusrakenne

Maanalaisten rakennushankkeiden rakentamista edeltävät vaiheet ovat ne, joiden aikana hankkeen laajuus ja reunaehdot ja tätä kautta hankkeen kustannukset pääosin määrittyvät. Nämä rakentamista edeltävät vaiheet eli hankesuunnittelu, esisuunnittelu ja rakennussuunnittelu, ovat myös ne vaiheet, joiden aikana hanketta varten tehdään pääosa hankkeen tutkimuksista. Tutkimuksista aiheutuu kustannuksia, jotka ovat kuitenkin vähäisiä suhteutettuna hankkeen kokonaiskustannuksiin. Kustannukset ovat yleensä 1-5 %. (Salmelainen, 2008) Tutkimuksilla tai niiden puutteella voi olla kuitenkin merkittävä kustannusvaikutus, koska vähäisten tutkimusten tai tutkimusten puutteellisen tulkinnan takia voi kallioperäolosuhteista tehty ennuste poiketa huomattavasti todellisuudesta.

Kalliorakennushankkeissa louhinta- ja lujitustöiden osuus on tyypillisesti 20–50 % hankkeen kokonaiskustannuksista (MTR, 1988). Riippuen hankkeen tyylistä ja muiden töiden osuudesta voi kalliorakennustöiden osuus olla suurempikin. Esimerkiksi viemäritunnelin rakentamishankkeessa louhinnan ja lujituksen osuus on suurempi, kuin metrotunnelissa, koska viemäritunneliin ei ole tarvetta tehdä niin monimutkaisia rakenteita, sähköjärjestelmiä tai ratakiskoja. Loput hankkeen kustannuksista käytetään rakennus-, LVI- tai sähkö- ja automaatiotöihin. Länsimetron Ruoholahti – Matinkylä -osuuden hankesuunnitelman kustannusennusteessa louhinta- ja lujitustöiden osuus hankkeen kokonaiskustannuksista on 29 % (Palmu, 2014). Asemilla kalliorakennustöiden osuus on pienempi.

### 2.1 Maanalaisten hankkeiden erityispiirteet

Maanalaisilla projekteilla on erityispiirteitä maanpäällisiin projekteihin verrattuna. Nämä erityispiirteet ovat geologia ja ns. suljettu tila (*closed room*). Nämä tekijät aiheuttavat maanalaisiin hankkeisiin enemmän epävarmuutta, kuin maanpäällisiin hankkeisiin. Epävarmuudet voidaan jakaa kolmeen ryhmään seuraavasti (Lundman, 2011).

- Riski: Päätöksentekijä voi intuitiivisesti tai rationaalisesti määrittää tapahtuman todennäköisyyden
- Luontainen epävarmuus (*Inherent Uncertainty*): Tilanne, josta ei ole olemassa vertailudataa, eikä aikaisempaa tilannetta johon voitaisiin verrata
- Aiheutettu epävarmuus: (*Inflicted Uncertainty*): Projektioorganisaation epävarmuus, joka aiheutuu toimijoiden kyvyttömyydestä oppia aiemmista projekteista (Lundman, 2011)

Näitä epävarmuuksia esiintyy maanpäällisissäkin hankkeissa. Voidaan kuitenkin ajatella, että verrattuna maanpäällisiin rakennus- ja infrahankkeisiin, on maanalaisissa hankkeissa enemmän varsinkin kahta jälkimmäistä epävarmuutta. Maanalaisia hankkeita tehdään määrällisesti huomattavasti vähemmän, kuin maanpäällisiä, joten on ymmärrettävää, että suunniteltaessa erilaisia geometrioita tuntemattomiin maanalaisiin olosuhteisiin päädytään tilanteisiin, joihin ei ole vertailukohteita. Lisäksi maanalaisten rakennus- ja infrakohteiden vähyys verrattuna maanpäällisiin kohteisiin tarkoittaa, että on todennäköisempää, että tilaajaorganisaatiossa on tapahtunut muutoksia, eivätkä edellisten hankkeiden opit ole niin tuoreena mielessä.

Edellä mainittuja väitteitä tukien Parker (2004) on tekstissään esittänyt joitakin maanalaisten projektien haasteita, joiden takia voidaan todeta maanalaisen hankkeiden

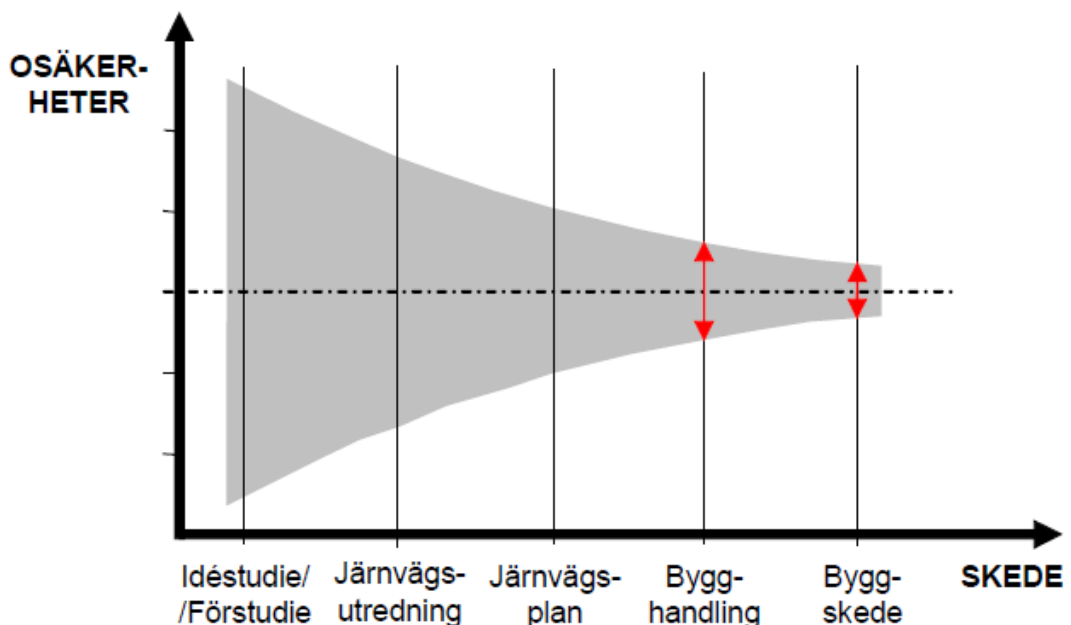
olevan erityisen haastavia ja joiden voi nähdä liittyvän kahdesta edellä mainitusta erityispiirteestä erityisesti geologiaan ja sen hankalaan tulkittavuuteen.

- Kaikki näkökulmat geologiselle tutkimukselle ovat haastavampia, kuin perinteisessä maan päälle rakentamisessa.
- Alueellinen geologia, ja hydrogeologia tulisi ymmärtää.
- Pohjavesi on vaikein yksittäinen määriteltävä parametri ja aiheuttaa eniten hankaluuksia rakentamisen aikana.
- Kallion vedenjohtamiskyvyn vaihteluväli on kallion rakoilun takia suurempi, kuin minkään muun suunnitteluparametrin.
- Kattavienkin tutkimusten kairasydänten tilavuus on suurimmillaan 0.0005 % luokkaa lopullisen tunnelin louhintamäärästä.

Edellä mainittujen tekijöiden voi hyvin ymmärtää hankaloittavan maanalaisten hankkeiden suunnittelua ja aiheuttavan epävarmuutta kallioperäennusteeseen ja suunnitteluparametreihin.

## 2.2 Kustannusten kehitys hankkeen aikana

Hankkeiden kustannukset nousevat usein, kun hankkeessa edetään suunnitteluvaiheesta toiseen. Lisäksi hankkeiden kustannusennuste tarkentuu ja epävarmuudet pienenevät suunnitteluvaiheesta toiseen, mikä nähdään kuvassa 2. MTR:n (1988) mukaan 80 % kustannuksista määräytyy suunnittelun aikana ja loput 20 % rakentamisen aikana. Kustannusennusteen tarkentuminen johtuu siitä, kun hankkeen edetessä hankkeen todellinen laajuus ja vaatimukset tarkentuvat ja varmuus lisääntyy. Kussakin hankkeessa tämä prosessi on erilainen johtuen projektien erilaisuudesta ja luontaisesta epävarmuudesta, joka aiheutuu paikallisista kallio- ja pohjavesiolosuhteista. Näistä epävarmuustekijöistä johtuen maanalaisissa hankkeissa kustannusten ennustaminen on hankalampaa, kuin maanpäällisissä hankkeissa.

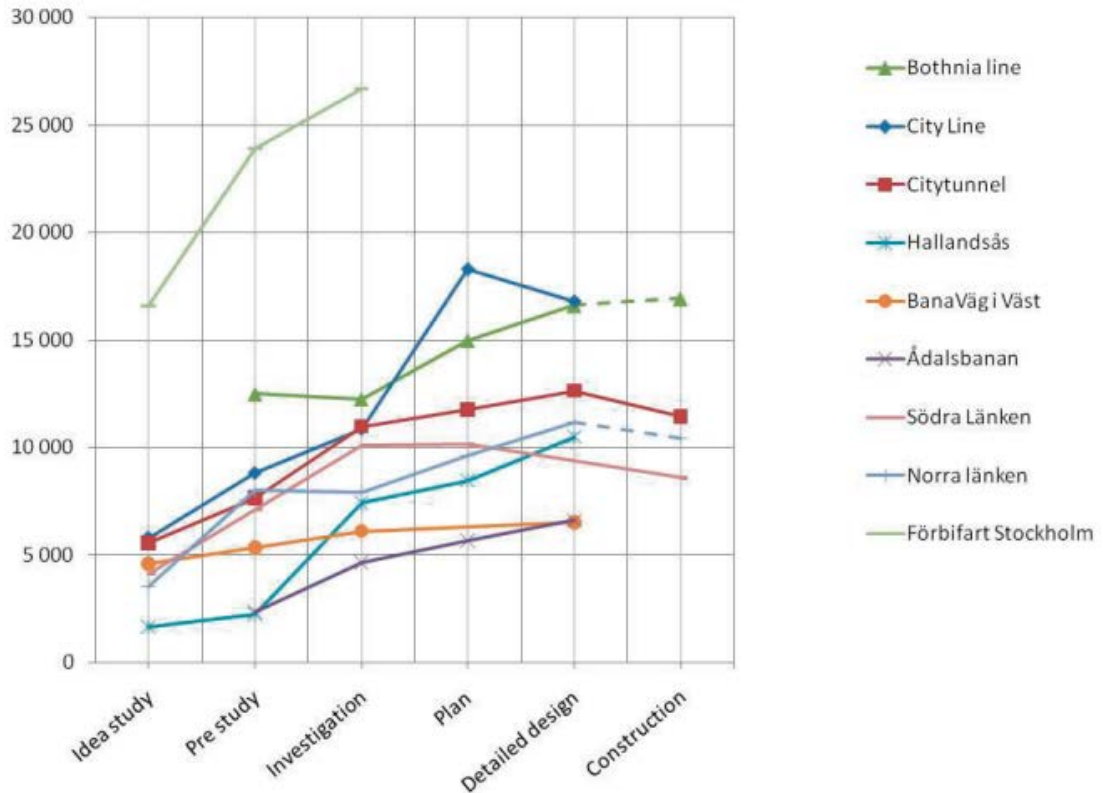


Kuva 2: Epävarmuuden pieneneminen hankkeen suunnittelun edetessä (Malmtrorp & Lundman 2010, s.41)

Tarkentumisen lisäksi on hankkeen edetessä kustannusarviolla tapana tarkentua suuremmaksi. Lundman (2011) on työssään tutkinut useiden tie- ja rautatietunnelihakkeiden hintakehitystä Ruotsissa ja niistä saadut tulokset ovat seuraavanlaisia: kustannukset nousevat kaikissa projekteissa suunnitteluvaiheiden edetessä, ja suurin hinnannousu tapahtuu suunnittelun aikana. Kustannusarvion kehitys erinäisissä hankkeissa on esitetty kuvassa 3. Kustannusten nousulla tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, että kustannusarvion kokonaissumma kasvaa. Kustannusten nousu johtuu siitä, että hankkeen edetessä hankkeen todellinen laajuus, reunaehdot ja rakentamiseen vaikuttavat ulkopuoliset tekijät tarkentuvat. Lisäksi Lundman (2011) on tehnyt seuraavanlaisia huomioita:

1. Tunnelien yksikköhinnat ja sopimushinnat eri kallionrakennustöille sisältävät paljon variaatiota
2. Hintakehityksen kokonaisprosessi on vakaa, ja lopputulema on ennustettava laajojen statististen raamien sisällä

Urakoitsijoiden haastattelut tätä työtä varten vahvistavat ensimmäisen huomion. Yksikköhintoihin vaikuttavat mm. urakoitsijan työtilanne, tarjousasiakirjat ja aikasidonnaisten kustannuksien sijoittaminen kiinteähintaisen ja yksikköhintaisen urakkaosan välillä. Lundman (2011) toteaa, että maanalaisten hankkeiden erityispiirteistä huolimatta huomattavan suuri osa lisäkustannuksista aiheutuu muista syistä, kuin kallioperän olosuhdemuutoksista, pääosin epäsuorina kuluina ja rahoituskuluina. On huomattava, että tässä työssä käsitellään nimenomaan niitä lisäkustannuksia, jotka aiheutuvat kallioperän olosuhdemuutoksista.



**Kuva 3: Yhdeksän Ruotsissa toteutetun tunneliprojektin kustannusarvion kehitys (MSEK) hankkeen aikana. Kaikkien hankkeiden kustannukset ovat nousseet alkuperäisestä arviosta. (Lundman, 2011 s. 50)**

### 2.2.1 Kustannusylitys

Kustannusylitys (*cost overrun*) tapahtuu, kun lopullinen kustannus on suurempi, kuin kustannusarvio. Vastaavasti kustannusaliitus tapahtuu, kun lopullinen kustannus on kustannusarviota pienempi. Hankkeiden aikana tehdään useita kustannusennusteita, joten kustannusylitystä määrittäessä täytyy eritellä, mitä kustannusennustetta vertailussa on käytetty. On todennäköisempää, että muutokset kustannuksissa ovat pienempiä, kun vertailussa käytetään myöhemmin tehtyä kustannusennustetta. (Lundman, 2011)

Kustannusylitysten syyt voidaan jakaa kolmeen tekijään (Lundman, 2011):

1. uusien yksiköiden lisääminen
2. yksiköiden määrän lisääminen
3. yksikköhintojen nousu

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat mm. tilaajan tekemät muutokset (esimerkiksi lujituspulttien epoksinnoite, jota ei ollut alkuperäisessä tarjousaineistossa). Toiseen ryhmään kuuluvat mm. suunnittelijan työaikana määräämät lujitukset. Viimeinen voi johtua esimerkiksi kun urakoitsija lisää suunnittele mattoman työn yksikköhintoihin aikasidonnaisia kustannuksia, jotka johtuvat työmaan suunnitellun toiminnan pysähtymisestä.

Lundmanin (2011) tutkimissa Ruotsalaisia hankkeita koskeissa virallisissa raporteissa on verrattu tilaajan budjettia toteutuneisiin kustannuksiin. Täten asiaa tarkastellaan tilaajan kannalta, mutta se ei välttämättä tarkoita, että esimerkiksi urakoitsija olisi pystynyt tekemään työt alle kustannusarvion.

Vaikka kustannusylitys määritellään toteutuneiden kustannusten ja aikaisempien kustannusarvioiden erotuksena, ylitys ei ilmaise välttämättä onko kyse todella kustannusten noususta, vai hankkeen laajuuden aliarvioinnista. Epäonnistuneita projekteja on tutkinut Hall (1980). Lähes kaikkien tutkittujen projektien kustannukset ovat nousseet; samoissa projekteissa on usein tehty myös suunnittelua ja ennusteita puutteellisilla lähtötiedoilla. Voitaisiin ajatella, että talousarvio on tällaisissa tapauksissa tehty erilaiselle projektille, mitä todellisuudessa ollaan tekemässä.

Lähes 90 % infraprojekteissa syntyy kustannusylitystä. Toisaalta verrattaessa kustannusarviota vähän epävarmuuksia sisältävään tarkan suunnittelun kustannusarvioon, on lähes yhtä yleistä, että kustannukset alittuvat. Kustannusylitykset hankkeissa ovat olleet jo pitkään yleisiä, mikä indikoi, että kokemuksia vanhoista projekteista ei hyödynnetä. (Lundman, 2011)

Tässä työssä on kuitenkin tarkoitus keskittyä rakennusaikaisiin kustannusten muutoksiin ja verrata rakennusaikaisten kustannusten muutosta urakoiden hyväksyttyihin tarjoushintoihin.

### 2.3 Kustannusten kehitys rakennusvaiheessa

Rakennusvaiheessa tunnelihankkeen reunaehdot ja laajuus ovat yleensä selvillä, joten hankkeen kustannusarvionkin tulisi olla jo suhteellisen tarkka.

Kuitenkin olosuhdemuutoksista johtuvia kustannuksia syntyy lähes aina. Malmtorp & Lundman (2010) olettavat, että muutokset lujitusten kustannuksissa johtuvat

kallioperäennusteen epävarmuuksista. Projektin tunnelinajon kustannukset (irrotus, lujitus ja tiivistys) pitäisi kuitenkin pystyä ennakkotutkimusten pohjalta arvioimaan +/- 10 % tarkkuudella (Teknologiavdelningen, 2003). +/- 10 % tuntuu tavoitettavalta puhuttaessa tunnelin louhinnasta. Erään haastatellun urakoitsijan oma tavoite kustannusten suhteen oli +/- 5 %, kun verrataan toteutunutta hintaa urakkalaskennassa tarjottuun.

Norjalainen tarvittavia tutkimusmääriä arvioiva julkaisu (Teknologiavdelningen, 2003) korostaa, että hyvin suunnitellut tutkimukset ja huolella tulkitut tutkimustulokset parantavat tietoa kallioperän laadusta ja pienentävät riskiä kohdata ennakoimattomia olosuhteita. Lisäksi tutkimuksen johtopäätös on, ettei kattavillakaan tutkimuksilla voida päästä täyteen varmuuteen kallioperän olosuhteista.

## 2.4 Kallioperäteknisistä syistä johtuvien lisäkustannusten osuus

Maanalaisissa hankkeissa syntyy rakennusvaiheessa kustannuksia, joista kaikki eivät kuitenkaan johdu olosuhdemuutoksista ja kallioteknisistä syistä.

Hsieh (2004) on tutkinut lisätöiden syitä 90 julkisessa hankkeessa, jotka on toteutettu Taipeissa vuosina 1991–2000. Hankkeista 10 on metrotunneleita. Hän on tutkimuksessaan todennut, että 55 % tunnelien muutostöistä on aiheutunut ennakoimattomista maanalaisista olosuhteista. Maanalaisten olosuhteiden aiheuttamien muutoksien vaikutus kokonaiskustannuksiin on tutkimuksessa kuitenkin vain 9 %. (Kuva 4) Tutkimuksessa ei ole mainittu, onko aikataulutekijä otettu huomioon kustannuksia nostavana tekijänä. Huomionarvoista tutkimuksessa on se, että metrohankkeiden lisätöistä 86 % johtuu määrällisesti rakentamiseen liittyvistä tarpeista, joihin mm. muutokset kalliolaadussa lukeutuvat. Metrohankkeissa kalliolaadun poikkeamista johtuneiden muutosten kustannusvaikutus on kuitenkin vain 12 %. Loput 14 % johtuvat hallinnollisista syistä, mutta näiden kustannusvaikutus on lähes nelinkertainen. Hallinnollisiin syihin lukeutuvat mm. hankealueella asuvien ihmisten aiheuttamat vaatimukset ja kaupungin vaatimukset hankkeelle. Tulokset näyttävät, että rakennusaikana syntyvistä lisäkustannuksista vain pieni osa johtuu poikkeavasta kallioperästä.

Table 4  
The comparisons of two different dimensions of change order needs

Category of construction	Change orders derive from construction needs		Change orders derive from administration needs	
	PCO (%)	CD (%)	PCO (%)	CD (%)
Building construction	51.44	9.02	48.56	21.28
Roadway construction	71.43	18.89	28.57	14.93
Bridge and culvert construction	21.43	34.50	78.57	41.26
Flood control construction	77.78	27.77	22.22	12.52
Subway tunnel construction	85.84	11.62	14.16	38.54
Overall	54.03	10.42	45.97	16.80

Kuva 4: PCO=proportion of change order (suhteellinen määrä) CD= contribution degree (kustannusvaikutus), (Hsieh, 2004, s. 686)

Lundmankin (2011) mainitsee, etteivät maanalaisten projektien erityispiirteistä johtuvat lisäkustannukset muodosta koko projektin mittakaavassa syntyvien lisäkustannuksien suurinta osaa. Hän on eritellyt kolme merkittävintä kustannuksia nostavaa tekijää:

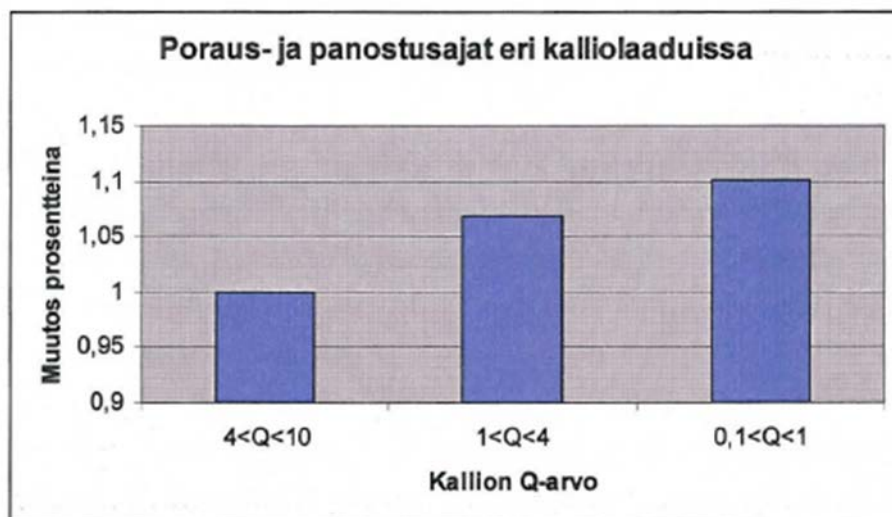
- pohjavesi, pohjaveden käsittely (water treatment)
- lujitus (reinforcement)
- tunnelin turvallisuus (tunnel safety)

Nämä Lundmanin esiintuomat tekijät vastaavat sangen hyvin Pohjanperän (2004) mainitsemia eniten louhintaa haittaavia tekijöitä, jotka ovat:

- kallion rakoilu
- rikkonaisuus
- rapautuneisuus sekä
- vesivuodot.

Nämä tekijät vaikeuttavat poraamista, nostavat räjähdysainekustannuksia sekä vaativat työaikaista lisälujitusta ja -tiivistystä. Tutkimuksissa kannattaisi kiinnittää huomioita erityisesti näiden piirteiden havainnointiin ja tutkimuksiin suunnattua rahamäärää tulisi kasvattaa ja seismisiä tutkimuksia tulisi hyödyntää nykyistä paremmin, jotta reikien välistä aluetta voidaan paremmin arvioida (Pohjanperä, 2004; Teikari, 2009).

Teikari (2009) on työssään kirjoittanut tekijöistä jotka aiheuttavat urakkaan kuulumattomia kustannuksia. Lisäkustannukset muodostuvat, kun materiaalia (mm. poranterät, räjähdysaine, nallit) kuluu louhintaan ennakoitua enemmän ja töihin kuluu enemmän aikaa, kuin ennustettu. Louhintakatkojen lyhentäminen huonon kalliolaadun takia lisää porametrien, tarvittavien työtuntien sekä materiaalien määrää. Lisäksi mm. lujitustoilla voi olla työmaan louhinnan keskeyttävä vaikutus. Aikataulutekijä on lisäkustannuksissa sangen merkittävässä osassa. Kalliolaadun vaikutus poraus- ja panostus aikoihin on esitetty kuvassa 5. Kuvasta nähdään että kallion heikkenemisellä on suora yhteys aikasidonnaisiin kustannuksiin. Varsin heikossa ja heikossa kalliossa esiintyy enemmän aikasidonnaisia ongelmia, kuin kohtalaisessa.



Kuva 5: Poraus- ja panostusajan riippuvuus Q-arvosta (Teikari, 2009, s. 50)

Hänen mukaansa kalliolaatu on merkittävässä roolissa, kun puhutaan louhintatyön etenemisestä. Kalliolaatu näkyy työmenetelmien, tarvikkeiden ja kaluston valinnassa, louhinnan lopputuloksen onnistumisessa ja työvaiheiden kestossa.



Ennustettua heikommasta kalliolaadusta johtuvat lisäkustannukset pystytään osoittamaan tilauksia ja materiaalivirtoja seuraamalla, ja vertaamalla geologista ennustetta, sekä todellista kalliolaatua. Urakoitsija pyrkii laskuttamaan ennusteesta poikkeavan kalliolaadun aiheuttamat ennakoimattomat työt tilaajalla, jonka vastuulla geologinen lähtöaineistokin on ollut. (Teikari, 2009)

Hankalinta lisäkustannuksien osoittamisessa on eritellä aikasidonnaisten kustannusten kasvun määrä. Jotta vertailua voidaan tehdä, tulee erilaisten kalliolaatujen työtehokkuus arvioida jollekin tasolle. Oletettu tehokkuus pitäisi arvioida projektin lähtötietojen pohjalta. Tehokkuuden arvioinnissa voitaisiin käyttää mm. aikaisempia projekteja ja niiden kalliolaatua. (Teikari, 2009)

### **3 Kallioperätutkimukset ja niiden vaikutus hankkeen kustannuksiin**

Kallioperätutkimuksilla on tarkoitus selvittää kallioperän tiedot niin hyvin, että projektin osapuolilla on riittävät edellytykset (teknistä ja taloudellista) suunnittelua, rakentamista sekä rakentamisen ympäristövaikutusten arvioimista varten (Raudasmaa, 1987). Tarkennettuna tämä tarkoittaa maakerrosten paksuuksien, kallioperän sijainnin, alueen yleisen geologian, kalliolaadun, pohjavesiolosuhteiden ja rakennetun ympäristön selvittämistä (Mikkola, 2005). Tutkimusmenetelmiä ei ole tässä työssä tarkoitus eritellä yksityiskohtaisesti, asiaan voi tutustua tarkemmin mm. kirjoissa *RIL154-1 Tunneli- ja kalliorakennus I* (RIL, 1987) tai *Kalliorakennusgeologia* (Niini et. al. 2000) tai *Kallioperätutkimukset maanalaisten tilojen louhittavuuden arvioinnissa* (Pohjanperä 2004).

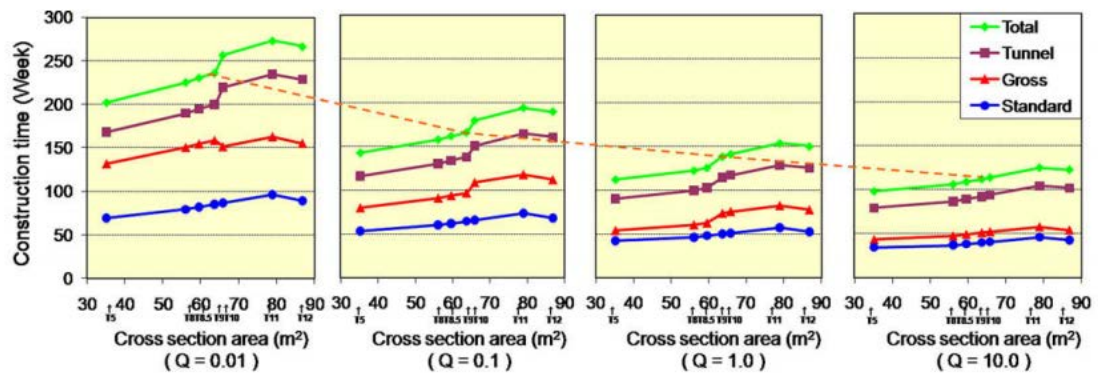
Suomessa tehtävissä maanalaisissa hankkeissa ei ole yhtenäistä tapaa määrittää kalliolaatua, vaan tilaaja vastaa kalliolaadun arvioimiseksi tarvittavan tutkimusmäärän arvioinnista. Tilaaja käyttää pääasiallisesti kalliolaadun määrittämisessä ulkopuolista suunnittelijaa. (Teikari, 2009; Hautalahti, 2014) Urakoitsija määrittää tutkimustulosten vaikutuksen louhintaprosessiin. Rakennusurakan yleisten sopimusehtojen mukaisesti Suomessa tilaaja on vastuussa antamistaan ennakotiedoista (RT16-10660, 1998).

Claytonin (et al. 1982) mukaan tutkimusten tulisi olla olennainen osa suunnitteluprosessia, eikä välttämätön paha. Tutkimukset tulisi suunnitella palvelemaan sekä olemassa olevien olosuhteiden tulkitsemista, että tulevan rakenteen tarpeita. Tutkimusten suunnittelutyössä tulisi käyttää riittävän ammattitaidon omaavaa geoteknistä suunnittelijaa (geotechnical engineer), joka voi ohjeistaa työhön liittyvistä riskeistä ja kuinka näitä riskejä voidaan tutkia ja hallita. Kallio- ja maaperän luonnollinen vaihtelu aiheuttaa useimpiin rakennusprojekteihin suuria epävarmuuksia, jotka huomioimatta jätettynä voivat aiheuttaa suurta vahinkoa hankkeille, sekä rahallisessa mielessä, että rakenteen pysyvyyden/stabiiliuden kannalta. Clayton (et al. 1982) kirjoittavat, että tutkimuksilla täytyy olla selkeä tavoite, jotta niillä olisi jotakin arvoa.

#### **3.1 Kallioperätutkimusten merkitys**

Kallioperätutkimuksia ei tulisi tehdä turhaan, vaan ne tulisi kohdentaa ajatellen rakennushanketta, jossa ne tehdään. Tavan vuoksi teetetyillä tutkimuksilla ei ole yhtä suurta arvoa, kuin tutkimuksilla, jotka on kohdennettu palvelemaan kyseessä olevaa hanketta. Tutkimuksia ei tulisi suorittaa erillisenä osana hanketta, vaan niiden tulisi palvella koko suunnittelu- ja rakentamisprosessia hankkeen aikana (UNCS/TT, 1984). Niiden tunneleiden rakentamisessa, joissa on tehty kattavammin tutkimuksia, on vähemmän kustannusylitystä ja vähemmän rakentamisen aikaisia ongelmia, kuin vähemmän tutkituissa tunneleissa. Tutkimukset parantavat kustannusten, projektin kannattavuuden, turvallisuuden ja lopullisen suunnittelutarpeen arviointia. (Parker, 2004)

Kallioperätutkimusten merkitys korostuu, kun urakan aikana todettu kalliolaatu on merkittävästi heikompaa, kuin tutkimusten pohjalta on ennustettu.



Kuva 6: Kallion Q-arvon ja louhinta-ajan välinen yhteys (Kim et al., 2009, s. 58)

Kuvassa 6 on esitetty kuinka kalliolaatu Q-luvulla mitattuna vaikuttaa 35-86 m<sup>2</sup> tunneliprofiilin louhinta-aikaan (Kim et al., 2009). Tutkimus on suoritettu Norjassa ja tutkitut tunnelit ovat tietunneleita. Louhinnassa on käytetty poraus- räjäytysmenetelmää. Vaikka tutkittujen tietunneleiden voisi olettaa sijaitsevan ympäristössä, joissa kaupunkiympäristö ei aiheuta värinärajoitteita louhinnalle, niin kuva antaa suuntaa siitä, miten merkittävästi yllättävä kalliolaadun huononeminen vaikuttaa louhinta-aikaan ja tätä kautta kustannuksiin. Tutkimuksessa kokonaisrakentamisaika on Q-arvon 10 kalliossa vain 50 % verrattuna Q-arvon 0,01 kallioon.

### 3.1.1 Tutkimusten merkitys vesistön alittavissa tunneleissa

Tutkimuksilla, jotka suoritetaan vesistön alittavia tunneleita varten, voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä, jos tunnelin linjausta voidaan nostaa. Vesistön alittavan kohteen tutkimusten tulee keskittyä erityisesti kallionpinnan paikantamiseen ja vedenjohtavuuteen tunnelin yläpuolisella osalla. Tutkimustulosten perusteella voidaan parhaassa tapauksessa todeta, että kallio on oletettua parempaa, jolloin tunnelin linjausta voidaan nostaa. (Teknologiavdelningen, 2003)

## 3.2 Kallioperätutkimusten vaiheistaminen

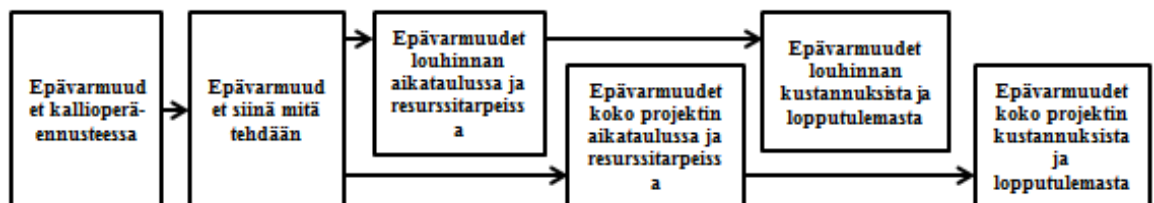
Kallioperätutkimusten prosessi on iteratiivinen. Rakennusprojekti jakautuu useisiin vaiheisiin, joissa kussakin on syytä tehdä tutkimuksia. Aiempien tutkimusten tulokset tulee huomioida aina seuraavaa tutkimusvaihetta ohjelmoitaessa. (SGY, 1979) Tutkimusten jakautuminen kalliorakennushankkeen elinkaareissa on esitetty Taulukossa 1. Taulukosta 1 nähdään, että tutkimusten pääpainopiste sijoittuu rakennussuunnitteluvaiheeseen. Ei ole kuitenkaan tavatonta käyttää esimerkiksi kalliolaadun määrittäviä kallionäytekairauksia jo aiemmissa suunnitteluvaiheissa.

**Taulukko 1: Kalliorakennushankkeen suunnittelu- ja tutkimusvaiheet (SGY, 1979) Mikkolan muokkaamana (Mikkola, 2005).**

Suunnitteluvaihe ja sitä vastaava tutkimusvaihe	Kallioteknisen suunnittelun tavoite	Kalliotutkimusten vaihe
<b>Hankesuunnittelu</b> <b>Hanketutkimus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alueen hankintasuositus</li> <li>• vaihtoehtoiset sijoitusratkaisut</li> <li>• kalliorakennusvaihtoehdot</li> </ul>	Vaihtoehtoisten rakennusalueiden pää-piirteinen maa- ja kallioperän selvitys alueiden keskinäistä vertailua varten <ul style="list-style-type: none"> <li>• maastokartat</li> <li>• maastokäynti</li> </ul>
<b>Esisuunnittelu</b> <b>Yleispiirteinen tutkimus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toteuttamiskelpoisimman kalliorakennusvaihtoehdon valinta</li> <li>• rakennuskohteen lopullinen sijoitus</li> </ul>	Rakennuspaikan kallioperän rakennettavuuden selvitys <ul style="list-style-type: none"> <li>• vanhat pohjatutkimustiedot</li> <li>• alueen geologinen kartoitus</li> <li>• geofysikaaliset tutkimukset</li> </ul>
<b>Rakennussuunnittelu</b> <b>Yksityiskohtainen tutkimus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kalliorakenteiden mitoitus-laskelmat</li> <li>• rakenne- ja louhintapiirustukset</li> <li>• työselitykset</li> </ul>	Alueen kallioperästä muodostetaan 3-ulotteinen kuvaus, jota käytetään tilojen lopullisen muodon ja lujituksen suunnitteluun <ul style="list-style-type: none"> <li>• raskaat maastotutkimukset (kallio-näytekairaukset, jännitystilamittaukset ym.)</li> </ul>
<b>Rakennusaikainen suunnittelu</b> <b>Tarkkailututkimukset</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tarkkailumittaussuunnitelma</li> <li>• lujitussuunnitelmien tarkistus</li> </ul>	Varmistetaan ennustettu kallionlaatu ja seurataan kallion liikkeitä

### 3.3 Epävarmuudet kallioperäennusteessa

Malmtorp & Lundman (2010) ovat työssään tutkineet millä tavalla epävarmuuksia voidaan mitata ja miten ne vaikuttavat koko hankkeeseen suunnittelusta rakentamiseen. Edellisen vaiheen epävarmuus aiheuttaa sen, että seuraavan vaiheen tehtäviä ei voida ennustaa kunnolla. Ketju lähtee liikkeelle kallioperäennusteesta. Epävarmuudet ennusteessa aiheuttavat rakennussuunnitteluvaiheeseen epävarmuutta, koska tarvittavaa lujituksen ja tiivistyksen määrää ja sitä kautta urakan todellista laajuutta ei varmasti tiedetä. Tämä puolestaan aiheuttaa epävarmuutta aikatauluun, ja tarvittavien resurssien arviointiin. Lopulta epävarmuus näkyy kustannusennusteessa ja todellinen vaikutus nähdään vasta kun toteutuneita kustannuksia voidaan verrata ennusteeseen. Epävarmuuksien kertautumisen vaikutukset nähdään kuvassa 7.



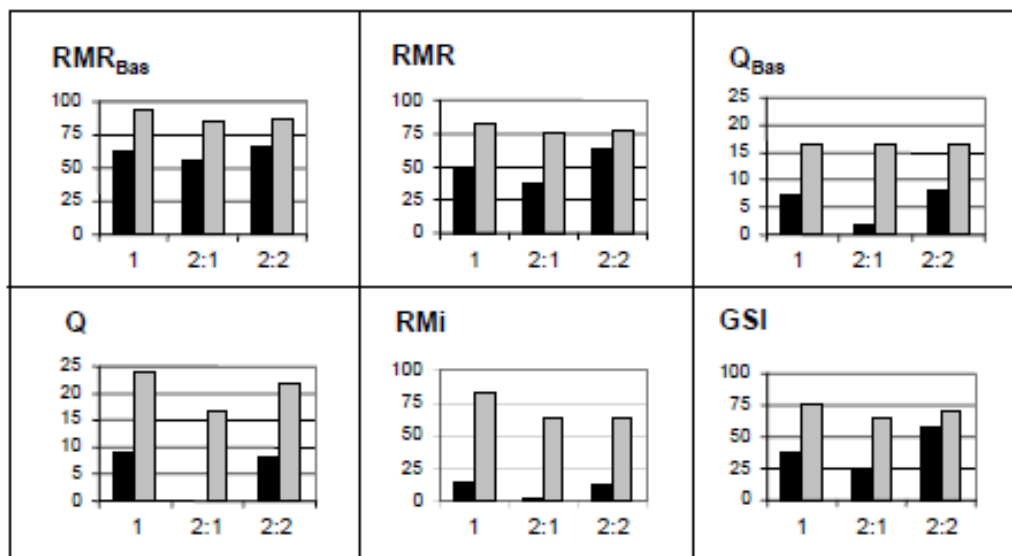
**Kuva 7: Kallioperäennusteen epävarmuuden ja kustannusten välinen yhteys (Malmtorp & Lundman, 2010, s. 11).**

Epävarmuuden määrää voidaan Malmtorpin & Lundmanin (2010) mukaan vähentää tekemällä kattavampia tutkimuksia. Kattavammat tutkimukset eivät kuitenkaan ole aina taloudellisin vaihtoehto. Merkitsevää on ymmärtää epävarmuuksien ja seuraamusten suhde. Tällöin voidaan arvioida, onko mahdollisten seuraamusten taloudellinen vaikutus hankkeeseen niin merkittävä, että lisätutkimuksia kannattaa suorittaa. Yksittäisen tunnelin kohdalla tämä tarkoittaa, että kattavia kairauksia ei välttämättä kannata tehdä, jos tiedetään, että mahdollisesti löytyvän ruhjevyyhykkeen aiheuttava taloudellinen seuraamus ei ole hankkeen mittakaavassa merkittävä.

### 3.3.1 Tulkinnan aiheuttamat epävarmuudet

Kallioperäennuste perustuu suunnittelijan tulkintaan tehdyistä tutkimuksista. On ymmärrettävä, että kallioperäennuste on aina kunkin arviota tekevän henkilön paras mahdollinen tulkinta, joka perustuu rajattuun määrään tutkimustietoa. Luotettava arvio kallioperäolosuhteista on sitä helpompi tehdä, mitä enemmän tutkimusaineistoa kohteesta on käytettävissä. Todennäköisesti suurempaan lähtöaineistoon pohjautuva ennuste on myös lähempänä totuutta.

Malmtorp & Lundman (2010) ovat työssään esittäneet tuloksia testistä, jossa seitsemän kallioinsinööriastaista henkilöä karakterisoi ja luokitteli kukin kaksi eri kivimassaa, joista toinen oli jaettu kahteen eri osaan. Käytetyt luokittelumenetelmät olivat RMR, R<sub>Mi</sub>, Q ja GSI. Tulokset osoittivat, että arvioissa oli huomattavan suuria vaihteluja. Kuvassa 8 nähdään kuinka suuria eroja kokeeseen osallistuneiden henkilöiden kartoitusten välillä on. Numerot 1, 2:1 ja 2:2 edustavat eri kartoituskohteita.



Kuva 8: Eroavaisuudet eri menetelmillä tehdyissä karakterisoinneissa. Palkit edustavat kunkin kivimassan luokiteltuja minimi- ja maksimiarvoja (Malmtorp & Lundman, 2010, s.17).

Lisäksi tulokset osoittivat, että herkin tutkituista luokituksista on Q-luokitus, joka lasketaan kuuden erikseen määritettävään parametrin perusteella. Q-luku on myös Suomalaisessa kalliorakentamisessa ja -suunnittelussa yksi yleisimmistä lujitusuunnittelun apuna käytettävistä kallion parametrisointimenetelmistä. Urakka- ja toteutus suunnitelmissa käytetään kuitenkin tavallisesti RG-luokitusta rikkonaisuusvyöhykkeiden esittämiseen.

Hyvässä kallioperässä kiven parametrisointi ja olosuhteiden määrittäminen on helpompaa kuin huonossa kivessä. On myös todennäköisempää, että hyvästä kivistä

tehty kallioperäennuste on lähempänä totuutta kuin huonossa kivessä, koska tutkimusten edustavuus on parempi. Toisin sanoen hyvässä kivessä esimerkiksi sydänkairauksen ympärys on myös hyvää kiveä. Vastavuoroisesti huonossa kivessä kairanäytteen ympäristö on vaihtelevampaa, ja täten kallioperän määrittäminen suuremmassa mittakaavassa on hankalampaa. (Malmtorp & Lundman, 2010)

Näytteiden ja paljastumien pohjalta tehtävästä kallion parametrisoinnista saadaan selkeästi huomattavan erilaisia tulkintoja tekijästä riippuen. Täten on oletettavaa, että tutkimuksiin pohjautuva kallioperäennuste on vähintäänkin yhtä vaihteleva eri henkilöiden tekemänä.

### 3.3.2 Tutkimusmenetelmien epävarmuudet

Useiden eri tutkimusmenetelmien käyttö parantaa ennusteen tarkkuutta, koska tutkimusmenetelmät ovat luonteeltaan erilaisia. Kairasydännäytteet antavat tarkan tiedon kallioperästä kairauksen kohdalla, mutta kairasydämen ulkopuolella sijaitseva kallio on tulkittava useampien näytteiden perusteella. Yksi suurista tulkinnan haasteista onkin määrittää yksittäisen näytteen edustavuus. Kallionäytekairausten ohella joskus käytettävät seismiset luotaukset eivät anna vastaavaa tarkkaa tietoa kiven laadusta näytteen kohdalla, vaan ne tulkitaan aaltojen etenemisnopeuden ja kallion ehjyyden välillä todettujen empiiristen yhteyksien perusteella. Oikein tulkittuna luotaukset voivat tarkentaa kairausten antamaa geologista kokonaiskuvaa kalliosta. (Malmtorp & Lundman, 2010)

Syrjänen & Loven (1999) ovat käyttäneet geostatistisia menetelmiä analysoidakseen Pyhäsalmen kaivoksen kairasydänten välistä korrelaatiosta. Tutkimuksen mukaan Pyhäsalmen (15680 näytettä) näytteistä mitattujen kallion rakoilua kuvaavien RQD-lukujen välillä löytyi korrelaatiota 25 metriin asti. Jos kalliorakennushankkeen kallioperä on vaihtelevuudeltaan ja suuntautuneisuudeltaan samankaltaista, kuin kallioperä Pyhäsalmissa, tämä tarkoittaa sitä, että yli 25 m päässä linjauksesta tai halleista tehtyt kairaukset eivät luotettavasti kerro louhittavan kallion rakoilusta.

Erityisesti tiuhaan rakennetuilla kaupunkialueilla tutkimuksia rajoittavia tekijöitä on runsaasti, eikä esimerkiksi kallionäytekairauksia pystytä aina suorittamaan suoraan rakennettavan tilan kohdalla. Tällaisissa tapauksissa tulee tarkkaan miettiä mikä näytteestä saatava hyöty on. Syrjäsen & Lovenin (1999) aineisto on yhdestä kohteesta. Jossakin muussa kalliorakennuskohteessa näytteistä voi arvioida kalliolaatua kauemmaskin kuin 25 m päähän. Tämä vaatii kuitenkin arvion tekijältä ymmärrystä kyseisen kohteen kallioperästä. Erityisesti kallioperän homogeenisuuden ja suuntautuneisuuden ymmärtäminen on oleellista, että näytteen edustavuutta voidaan arvioida.

### 3.3.3 Tutkimusten ja ennusteen paikkansapitävyyden korrelaatio

Malmtorpin ja Lundmanin työssä (2010) on tutkittu aineistoa viidestä *Ådalsbanan* tunnelista, joiden pituus on yhteensä 1650 m. Aineisto sisältää alun perin arvioidut Q-luvut ja urakan aikana kartoitetut Q-luvut. Heidän aineistossaan tunnelit on jaettu osiin ja tehdyt esitutkimukset on jaettu 'Hyvin tutkittuun kalliolaatuun' (*Bra underlag*) (HK) sekä 'Epävarmaan kalliolaatuun' (*Osäkert underlag*) (EK). "HK" käsittää sellaiset alueet joilla on tehty "hyvä määrä" sydänkairauksia, "hyvä määrä" muita tutkimuksia ja "hyvä määrä" seismisiä tutkimuksia. "EK" käsittää sellaiset alueet, joilla yksi tai

useampi edellä mainituista tutkimuksista ei täytä ”hyvä määrä”-käsitettä. Tutkimuksessa saadut tulokset olivat seuraavanlaisia:

- Tunnelinajoaika (*Drivningstiden*) kasvoi 1 % ”HK:ssa” ja 20 % ”EK:ssa”
- Kokonaisrakennusaika sisältäen lopullisen lujituksen kasvoi 1 % ”HK:ssa” ja 35 % ”EK:ssa”
- Lopullisen lujituksen kustannukset kasvoivat 2 % ”HK:ssa” ja 30 % ”EK:ssa”

Tutkimusten perusteella vaikuttaa siltä, että hyvin tutkituilla alueilla työn todellinen laajuus on onnistuttu arvioimaan huomattavasti paremmin. Hyvillä lähtötiedoilla tutkimuksilla on saavutettu suurin osa olennaisesta tiedosta, jolloin ennusteet antavat hyvän kuvan todellisuudesta. Huonoilla lähtötiedoilla tutkimuksilla ei ole saavutettu kaikkea relevanttia, ja todellisuudesta syntyy helposti liian positiivinen kuva. (Malmtorp & Lundman, 2010)

### 3.4 Kallioperätutkimusten kustannukset

Kallioperätutkimuksilla on hintansa, mutta suhteessa tunnelihankkeiden ja maanalaisten hankkeiden kokonaiskustannuksiin, ovat tutkimuksiin käytetyt rahamäärät suhteellisen pieniä. Yleensä puhutaan muutamista prosenteista. Salmelaisen (2008) mukaan tutkimuskustannusten suuruusluokka maanalaisissa hankkeissa on 1-5 % louhintakustannuksista. Lisäksi hän esittää taulukossa 2 kertaluokkaisia yksikköhintoja eri tutkimusmenetelmille. Yksikköhinnat ovat korkeintaan vuoden 2008 tasoa, joten vuoden 2014 hintatasolla voi vastaavien tutkimusmenetelmien hintojen olettaa olevan 1-1,5 kertaa vuoden 2008 hinta.

Taulukko 2: Tutkimusmenetelmien yksikköhintoja (Salmelainen, 2008).

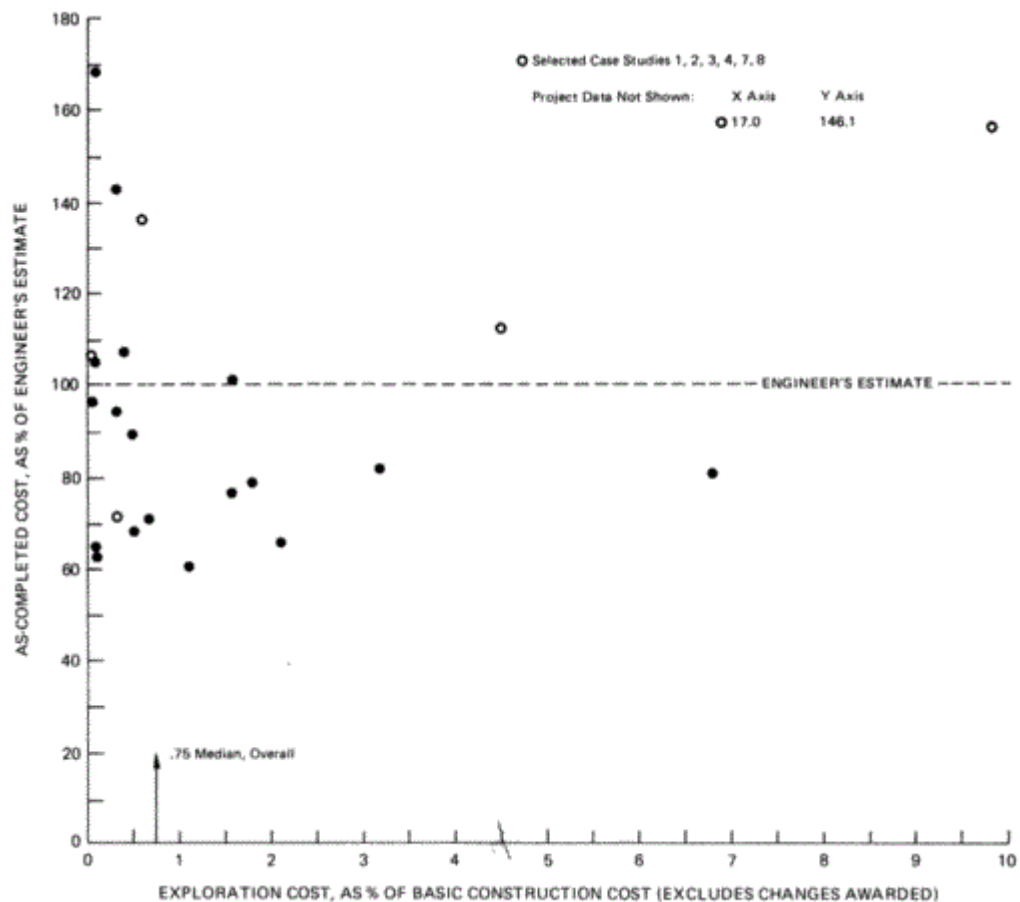
Menetelmä	Yksikkö	Hinta (euro, alv 0 %)
RG-kartoitus	h	80
Maatutkaluotaus	km	2500
Seisminen refraktioluotaus	km	5000
Porakonekairaus, kevyt yksikkö	kpl	300
Porakonekairaus, raskas yksikkö	kpl	400
Kallionäytekairaus (<T56) + raportointi	m	160
Jännitystilamittaus, irtikairaus (ei sisällä irtikairausta)	reikä	20000
Jännitystilamittaus, hydraulinen murtaminen (sis. 35 m kairausta)	reikä	12000
Koeräjäytys (3 mittaria)	reikä	5000
Reikien videokuvaus	m	20

Taulukossa 2 esitetyt tutkimuskustannukset vastaavat suuruusluokaltaan Länsimetron keskimääräisiä tutkimuskustannuksia porakone- ja kallionäytekairausten osalta. (Länsimetro, 2014c). Voidaan olettaa, että muidenkin tutkimusmenetelmien kustannukset antavat oikean mielikuvan yksikköhinnoista.

Amerikassa UNCS/TT (1984) (*U.S. National Committee on Tunneling Technology*) suorittamassa kattavassa geoteknisiä tutkimuksia koskevassa tutkimuksessa käydään läpi 87 hanketta, joista 84 on tunneleita ja 3 syviä kuiluja. Hankkeiden tutkimusmäärät, tunnusluvut, kustannukset ja hankkeissa esiintyneet ongelmat on kerätty taulukoihin ja

niiden pohjalta on tehty tilastollinen analyysi. USNC/TT:n antamien suositusten mukaan tutkimuksiin pitäisi käyttää noin 3 % arvioituista rakentamiskustannuksista.

Teikari (2009) ja Pohjanperä (2004) ovat argumentoineet, että Suomessa ”ennakkotutkimuksia tulisi yleisesti parantaa”. Riittävällä määrällä tarpeeksi laadukkaita tutkimuksia, voidaan varautua tuotannon ongelmiin etukäteen, tai välttää ongelmat kokonaan. Tämä vähentää suoraan syntyvien lisäkustannusten määrää. Ennakkotutkimuksien ”yleinen parantaminen” tarkoittaa, että kallioperätutkimuksiin suunnattua rahamäärää Suomessa tehtävissä maanalaisissa hankkeissa tulisi yleisesti kasvattaa. Työtä varten haastatellut urakoitsijat ovat olleet myös sitä mieltä, että nimenomaan tutkimuspuoleen pitäisi panostaa.



**Kuva 9: Tutkimuskustannusten suhteellisen määrän ja kustannusennusteen tarkkuuden yhteys (UNCS/TT, 1984, s. 103).**

Tutkimuksessa (UNCS/TT, 1984) esitetystä kuvaajasta (Kuva 9) nähdään, että kun tutkimuskustannukset kasvavat, paranee kustannusennusteen tarkkuus. Pystyakseli kuvaa kustannusennusteen tarkkuutta ja vaaka-akseli tutkimuskustannusten kokoa suhteessa rakentamiskustannuksiin.



### **3.5 Kallioperätutkimusten tarvittava määrä**

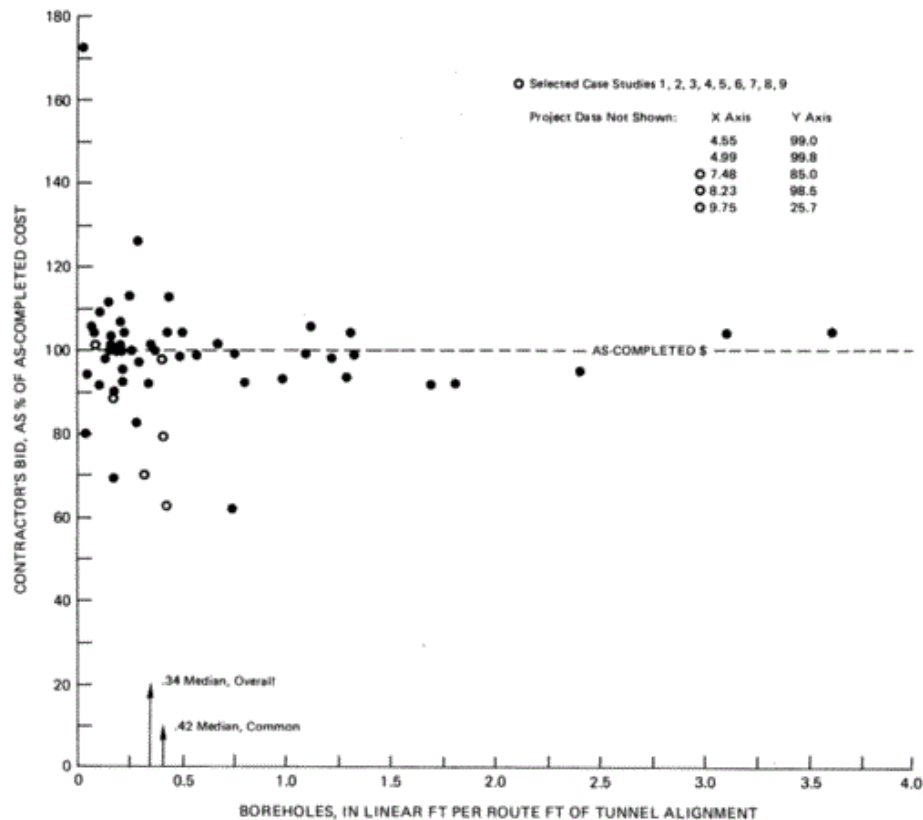
Tätä työtä varten tutkituista lähteistä ei ole löydettävissä yksiselitteistä vastausta tarvittavalle tutkimusmäärälle. Ilkka Satola ja Risto Niinimaa Helsingin kaupungin geotekniseltä osastolta kertovat (Satola & Niinimaa, 2014), että heidän projekteissaan ei ole taulukoitua määrää siitä, kuinka paljon tutkimuksia maanalainen hanke tarvitsee. Helsingin kaupungin geotekninen osasto suunnittelee lähinnä kunnallistekniikkaan liittyviä hankkeita, eli viemäritunneleita, yhteiskäyttötunneleita, sekä teknisiä tiloja. Haastatellut sanoivat kuitenkin noudattavansa muutamia perussääntöjä tutkimusten ohjelmoinnissa:

- ajotunneleiden yläpuolinen kalliopinta varmistetaan porakonekairauksilla
- kutakin hallia kohden tehdään yksi kairaus, jos se on teknisesti mahdollista
- kuilujen kohdat tarkistetaan pystysuorilla kairauksilla, jos se on teknisesti mahdollista
- tunnelien linjauksia tutkitaan tarvittaessa, esimerkiksi painauman kohdalta (Satola & Niinimaa, 2014)

Teknisiä tunneleita suunnitellaan ja louhitaan siis hyvinkin vähäisellä tutkimusmäärällä. Hankkeissa on jopa kilometrien pituisia osuuksia, joilla ei ole tehty kallionäytekairauksia. (Satola & Niinimaa, 2014) Tämä on ymmärrettävää ja hyväksyttävää, koska kyseessä olevat tilat eivät ole siviilikäyttöön, mutta tutkimusten puute voi aiheuttaa pahimmillaan suuriakin kustannusvaikutuksia. Esimerkkinä suurista kustannusten noususta toimii Espoon Leppävaaraan rakenteilla oleva vesihuoltotunneli, jonka kokonaispituus on 1500 m. Ajotunnelin alueelle ei ollut tehty tarpeeksi kattavia tutkimuksia ja jo tunnelin louhinnan alkuvaiheen aikana urakan suunnitellut lujituskustannukset ylittyivät yllättävän huonosta kalliolaadusta johtuen. (HSY, 2014) (Huttunen & Saari, 2014). Tarkkoja kustannustietoja ei urakasta ollut työn tekohetkellä saatavilla.

Tilastollisesti tarvittavaa tutkimusmäärää lähestyvän amerikkalaisen tutkimuksen (USNC/TT, 1984) suosituksen mukaan kallionäytekairausten metrimäärän tulisi olla noin 1,5-kertainen tunnelin keskilinjan metrimäärään verrattuna. Tällä tutkimusmäärällä sekä kustannusarvio, että tarjoushinta asettuvat merkittävästi lähemmäksi todellisia kustannuksia, kuin tutkimuksessa olleiden hankkeiden keskimääräisellä, noin 0,4 metriä/tunnelimetri, kairausmäärällä. Kuitenkin jo nostamalla määrää 0,6 metriin/tunnelimetri saadaan kustannusennusteen tarkkuutta parannettua. Kairausmäärän vaikutus tarjouksen paikkansapitävyyteen esitetään kuvassa 10. (USNC/TT, 1984)

Tutkimuksessa viitataan kuitenkin yksittäiseen tunneliin. Kahden rinnakkaisen tunnelin tapauksessa, kuten Länsimetro, jossa tunnelit sijaitsevat suhteellisen lähekkäin, ei ole tarvetta tehdä tutkimuksia molemmille tunneleille erikseen. Tällöin suositeltu tarvittava kallionäytekairausten metrimäärä puolittuu 0,75 metriin / tunnelimetri.



**Kuva 10: Kairausmäärien kasvaessa maanalaisten hankkeiden tarjoushinnat lähentyvät todellisia kustannuksia (UNCS/TT 1984, s. 107).**

Tarvittava tutkimusmäärä ei siis ole yksiselitteinen. Vaikka tutkimukset olisi kunnolla ohjelmoitu ja suoritettu, ei ole takuuta siitä ovatko tutkimustiedot riittävät. Kallioperätutkimuksia ohjelmoitaessa ja tarvittavaa määrää arvioitaessa tulee ottaa huomioon maanalaisten projektien keskinäinen erilaisuus. Kunkin alueen geologia on yksilöllinen, projektien laajuus vaihtelee, kalliotilan käyttötarkoitus vaihtelee, kallioperäolosuhteet vaihtelevat. Muuttujia ja parametreja on yksinkertaisesti todella paljon. Tästä johtuen ei voida määrittää yhtä yksittäistä totuutta tarvittavien kallioperätutkimusten määrästä, mutta tutkimusten suunnittelua varten voidaan antaa edellä mainittuja suuntaviivoja tutkimusmäärien ja kustannusten suhteen. (Teknologiavdelningen, 2003)(Panthi et. al, 2007)(Parker, 2004)

### 3.6 Yhteenveto

Kalliorakennuskohteet ovat kaikki keskenään erilaisia, sekä laajuudeltaan, käyttötarkoitukseltaan, että geologialtaan. Suoraa vastausta kysymykseen: ”Kuinka paljon kallioperätutkimuksia tulisi hankkeessa tehdä?” ei pystytä antamaan. Kuitenkin riittävän asiantuntijuuden ja loogisen päättelyn kautta voidaan eri projekteissa tarvittava määrä tutkimuksia suorittaa. Ongelma on, kuinka saada tilaajaorganisaatio vakuutettua tarvittavien tutkimusten määrästä, ja kuinka saada suunnittelijoista irti paras mahdollinen tulkinta mahdollisimman pienellä aineistolla. Näitä kysymyksiä ajatellen lähestymistapa tarvittavien tutkimusten laatuun ja määrään tulisi olla osittain tilastollinen. Tilastollista dataa viime vuosien kalliorakennusprojekteista on kuitenkin erittäin hankala saada laajamittaisesti samaan tutkimukseen.

## 4 Kallioperätutkimusten merkitys urakoitsijan näkökulmasta

### 4.1 Taustaa

Kallioperätutkimuksia käsittelevissä tutkimuksissa urakoitsijan näkökulma jää monesti huomioimatta, koska tietoa voi olla hankala saada, ja tieto voi olla vahvasti mielipiteisiin pohjautuvaa. Urakkalaskenta on urakoitsijan valinnassa ja koko hankkeen kustannusten kannalta merkittävä vaihe.

*”Useita lisäkustannuksia ja tuotannon ongelmia olisi monessa tilanteessa voitu välttää, mikäli kalliolaadun heikkenemiseen olisi ennakoon voitu varautua. Tehtyjen selvitysten perusteella olisi suositeltavaa huomioda ennakkotutkimusten määrä ja niiden tulosten luotettavuus määritettäessä maksuperustetta urakalle” (Teikari, 2009 s.68)*

Teikari (2009) väittää työssään että ”tutkimuksissa ilmenneet tiedot annetaan tarjouspyynnön yhteydessä urakoitsijalle, ja urakoitsija määrittää niiden vaikutuksen louhintaprosessiin”. Kuitenkin tämän työn yhteydessä tehtyjen haastattelujen perusteella on käynyt ilmi, että urakoitsijoilla ei välttämättä ole tarjouslaskentavaiheessa aikaa ja halua tehdä tutkimusten pohjalta kallioperäolosuhteanalyysia, vaan urakkalaskenta-aineistossa tulisi ennemminkin määrittää heikkousvyöhykkeen lujittamiseen tarvittavien materiaalien määrä. Näin kaikki urakoitsijat voivat tehdä tarjouksensa samoista lähtökohdista, mikä on myös tilaajan etu.

Pohjanperä (2004) on tutkimuksessaan tarkastellut kolmen kalliorakennuskohteen louhinnan onnistumista. Tutkimuksessa on verrattu tehtyjä tutkimuksia louhinnan onnistumiseen, sekä urakkakohtaisesti tarkasteltu, kuinka paljon tutkimusaineistoa urakoitsijalla on ollut käytettävissä urakkalaskentavaiheessa. Tutkitut kalliorakennuskohteet eivät ole olleet tunneleita, vaan kalliosuoja, kivihiihivarasto ja laitetila, joiden rakentamisessa on erilaiset rajoitteet verrattuna tunneleihin. Raportissaan Pohjanperä korostaa, että kallioperätutkimusten aloittaminen ajoissa parantaa urakkalaskennan realistisuutta, kun kallioperätutkimusten perusteella voidaan tehdä selkeämpää analyysia vallitsevista olosuhteista. Hänen mielestään suurin osa kustannuksista pitäisi pystyä arvioimaan jo urakkalaskentavaiheessa. Pohjanperä ehdottaa, että urakoitsijalla olisi pääsy kaikkiin tutkimusraportteihin.

Amerikkalainen tutkimus (UNCS/TT, 1984) on esittänyt urakkalaskentavaiheeseen liittyviä havaintoja perustuen tutkimuksiinsa projekteihin:

- On tilaajan etu teettää kattavat tutkimukset ja analyysit urakkakyselyä varten.
- Tilaajan tulisi tuoda ilmi kaikki geotekninen tietämys urakkalaskentaan, ja poistaa vastuuvapauslausekkeet tarjousdokumenteista.
- Kaikki geologiset raportit tulisi esittää sopimuspapereissa.
- Tunnelisuunnittelijoiden tulisi tehdä ”Geotekninen yhteenvetoraportti” jonka pitäisi olla tarjouskilpailun osapuolten nähtävissä ja kaikilla siitakin eteenpäin.
- Ympäristön seuranta (pohjavesi/painumat/siirtymät) tulisi aloittaa jo ennen rakennustöitä, jotta töiden vaikutusta voidaan arvioida.
- Ennen tarjousten vastaanottamista tulisi mahdollistaa kohdekäynnit ja pitää etukäteiskonferensseja, jotta kaikilla tarjoajilla on mahdollisimman suuri määrä tietoa.

- kartoitustiedot ja as-built tiedot tulisi projektin jälkeen koostaa yhteenvetoraportiksi.

## **4.2 Tutkimusasetelma**

Tämä työn osa suoritettiin kvalitatiivisena haastattelututkimuksena. Aineistoa varten haastateltiin kolmen eri urakoitsijan edustajaa liittyen kallioperätutkimuksiin ja tarjouslaskentaan. Haastattelut olivat kestoaltaan 1-1,5 h. Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin asiasisällöltään. Litterointi ei vastaa haastatteluäänitteitä sanasta sanaan, mutta asiasisältö on sama. Haastatteluaineiston olennaisimmat kysymykset ja vastaukset esitetään tässä kappaleessa. Haastattelukysymykset löytyvät Liitteestä 1.

Haastattelut suoritettiin kysymyslomakkeen pohjalta. Haastattelutilanteissa käytiin kuitenkin osittain vuorovaikutteista keskustelua, joten kysymysten esiintymisjärjestys ja läpikäydyt asiat poikkeavat hieman kunkin haastattelun kohdalla. Haastatteluissa pyrittiin kuitenkin säännönmukaisesti käymään läpi kaikki tämän työn kannalta oleelliset asiat

Kaikki haastateltujen urakoitsijoiden edustajat ovat olleet mukana yrityksensä tarjouslaskennan prosessissa useiden urakoiden kohdalla. Haastatteluiden päätavoite oli selvittää:

- mitkä tekijät vaikuttavat urakan hinnoitteluun ja miten?
- mikä on urakoitsijoiden näkemys kallioperätutkimusten merkityksestä?
- vaikuttavatko tutkimukset urakkalaskentaan ja millä tavalla?

## **4.3 Tarjouslaskennan tavoite ja prosessi**

- mikä on tarjouslaskennan tavoite?
- miten tarjouslaskentaprosessi tapahtuu?
- miten hinnoittelu tapahtuu?

Tarjouslaskennassa urakoitsijat pyrkivät laskemaan ja tarjoamaan urakkaa sellaisella hinnalla, että he voittavat tarjouskilpailun. Urakoitsijat vastasivat laskevana ja tarjoavana myös kohteita, joita eivät halua toteuttaa, saadakseen kuvan sen hetkisestä hintatasosta kalliorakentamisessa.

Tarjouslaskennan laskentaprosessi on kaikilla haastatelluilla urakoitsijoilla samansuuntainen. Tarjousasiakirjojen perusteella määritellään urakan aikataulu ja resurssitarpeet. Näiden perusteella lasketaan ns. 'tiukka hinta', joka sisältää henkilöstö-, kalusto- ja materiaalikulut, sekä työmaan ylläpitoon kuluvat kustannukset. Tämän jälkeen hintaan lisätään/hinnasta vähennetään uhkat ja mahdollisuudet, jotka urakoitsijat ovat määrittäneet laskentavaiheessa. Lopuksi hintaan lisätään urakoitsijan kate. Urakoitsijoiden mukaan tavoiteltu työmaakate on noin 7-12 %. Katetta laskeva tekijä on mm. huono työtilanne.

#### **4.4 Kallioperätutkimusten vaikutus urakkalaskentaan**

- millä tavalla kallioperätutkimukset vaikuttavat urakkalaskentaan?
- millä tavalla epävarmuudet otetaan huomioon urakkalaskennassa?

Kallioperätutkimukset vaikuttavat vastausten mukaan urakkalaskentaan välillisesti. Jos kallioperätutkimuksista on tehty kunnan analyysi ja sen tulokset ovat päätyneet tarjousasiakirjojen piirustuksiin, niin vaikutusta on. Jos urakoitsijat pystyvät varautumaan heikkousvyöhykkeisiin jo urakkalaskentavaiheessa, niin louhinnan aikataulu pystytään laskemaan todenmukaisemmin. Urakoitsijat olivat yksimielisiä siitä, että louhintatyössä aikataulun venyminen aiheuttaa suurimmat lisäkustannukset. Materiaalit eivät maksa merkittävästi verrattuna louhinnan aikataulun venymiseen.

Aikataulun kustannusvaikutus johtuu siitä, että työmaan päiväkohtaiset ylläpitokustannukset ovat Länsimetron urakoiden kokoisissa urakoissa kymmeniä tuhansia (10000€-20000€). Jos urakoitsija joutuu tekemään perään suunnittelemattomia työnaikaisia lujituksia, niin samaan perään suunniteltu työ keskeytyy, ja urakoitsijan päiväkohtainen kate laskee keskeytyksestä riippuen vähän tai merkittävästi. Työn keskeyttävien lujitusten merkitys korostuu yksiperälouhinnassa, jolloin käytännössä kaikki muu työ pysähtyy lujitusten takia. Moniperälouhinnassa merkitys ja kustannusvaikutus on pienempi, koska töitä pystytään tekemään urakan muilla alueilla.

Vuolio (2010) toteaa, että hyvin suoritettut tutkimukset saattavat vaikuttaa alentavasti urakkahintaan, koska hyvät tutkimukset laskevat urakoitsijan riskiä. Hän määrittelee, että 'erittäin hyvien tutkimusten' alaisena hankkeen tarjoushinta voi olla jopa 20 %-yksikköä matalampi kuin 'erittäin heikkojen tutkimusten'. Kuitenkin kaikki haastatellut urakoitsijat totesivat, että epävarmuuksiin kallioperässä ei suoraan voida varautua, koska urakoiden tarjoaminen on kilpailua muiden urakoitsijoiden kanssa. Vaikka tiedostettaisiin, että kallioperää ei ole tutkittu kunnolla, niin urakkahinnassa ei voida varautua epävarmuuteen kasvattamalla kokonaishintaa. Urakoitsijat totesivat kuitenkin, että urakoissa, joissa on yksikköhintaosa, voidaan kasvattaa tiettyjen työvaiheiden yksikköhintoja, jos koetaan, että tilaajan määräravio on pienempi, mitä urakoitsija kokee tarpeelliseksi. Vastaavasti yksikköhintoja voidaan laskea sellaisista työvaiheista, joita uskotaan tehtävän määrällisesti vähemmän, kuin tilaaja on arvioinut.

#### **4.5 Muiden tekijöiden vaikutus urakkalaskentaan**

**kuinka paljon urakkalaskentaan on käytettävissä aikaa?  
mitkä tekijät vaikuttavat tarjoushintaan?**

Urakoitsijat totesivat, että Suomessa kalliorakennuskohteiden urakkalaskenta tehdään lähes aina kiireellä. Verrattuna muihin pohjoismaihin ja Keski-Eurooppaan laskenta-ajat voivat olla jopa puolet lyhyempiä. Kukaan haastatelluista ei kuitenkaan osannut arvioida, mikä lyhyen laskenta-ajan vaikutus urakan hintaan lopulta on.

Lopulliseen tarjoushintaan laskevasti vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tilaajan aikaisempi kokemus kalliorakennusprojekteista, tilaajan ja urakoitsijan keskinäinen tunnettuus, tarjouskilpailussa tai urakoitsijalla tuotannossa olevien louhintatöiden vähyys, sekä kova kilpailutilanne. Aiemmistä projekteista tutun tilaajan kanssa urakoitsija tietää

miten yhteistyö toimii. Jos kokemus aiemmista projekteista on ollut sujuva, niin urakoitsijalle on helpompaa tarjota hieman halvemmalla. Louhintatöiden vähyys vaikuttaa alentavasti, koska on urakoitsijoille tuottavampaa tehdä töitä pienellä katteella, kuin olla kokonaan ilman urakkaa.

Lopullista tarjoushintaa nostavia tekijöitä ovat mm. rakennuttajakonsultin läsnäolo hankkeessa, laajuudeltaan pieni projekti sekä tilaajan asettama tiukka projektiaikataulu. Eräs urakoitsija arvioi rakennuttajakonsultin läsnäolon lisäävän tarjoushintaa noin 2 %. Rakennuttajakonsultin läsnäolo lisää tyypillisesti dokumentaation ja byrokratian määrää ja lisää työmaainsinöörien työtaakkaa ja henkilöresurssitarpeita. Rakennuttajakonsultin läsnäolo koettiin kuitenkin tarpeelliseksi hankkeissa, joissa tilaajalla ei ole kokemusta louhintatöiden rakennuttamisesta. Pienistä hankkeista haluttiin kovempi kate, koska urakoitsijan suhteellinen työmäärä on suurempi.

#### **4.6 Urakkalaskenta-aineiston laatu**

**varaudutaanko urakkalaskennassa epävarmuuksiin?  
mitä tarjousasiakirjoihin tulisi sisältyä, jotta kustannusennuste saataisiin mahdollisimman tarkaksi?**

Urakkalaskenta-aineiston tulisi olla hyvin suunniteltua ja kallioperätutkimusten tulisi olla valmiiksi analysoitua. Haastatellut urakoitsijat olivat yksimielisiä siitä, että tilaajan tulisi vastata siitä, että kallioperätutkimusten pohjalta on tehty kunnollinen yhteenveto ennen urakkalaskentaa. Urakoitsijoilla ei ole laskentavaiheessa resursseja analysoida tutkimustuloksia, vaan he toivoivat, että arvio kallioperästä on tehty siinä vaiheessa, kun urakka-asiakirjat julkistetaan. Kuitenkin urakoitsijat sanoivat pintapuolisesti käyvänsä tutkimusaineiston läpi ja vertaavansa sitä tehtyihin analyysihin. Vastauksissa korostettiin, että tärkeintä aikataulun kannalta on esittää heikkousvyöhykkeet ja niiden lujitustarpeet selkeästi.

Epävarmuuksiin urakoissa varaudutaan urakkahintaan sisällytellä riskiosalla. Haastatellut urakoitsijat olivat kuitenkin sitä mieltä, että urakkahintaa ei voida suuresti kasvattaa, koska hinnan nouseminen heikentää mahdollisuuksia tarjouksilpailun voittoon. Urakoitsijat perustavat tarjouksensa piirustuksiin, jotka heille on urakka-asiakirjoissa toimitettu. Jos suunnitteluvaiheessa ei ole käytetty tarpeeksi aikaa suunnitelmien tekoon, joutuvat urakoitsijat varautumaan piirustusten mukaiseen parhaaseen mahdolliseen kalliolaatuun, joka saattaa aiheuttaa riitatilanteita urakan aikana, jos kalliolaadussa ilmenee suuria poikkeamia ennustetusta.

#### **4.7 Lisätöihin varautuminen**

**haluaako urakoitsija tehdä/saada lisätöitä parantaakseen urakan katetta?  
millä tarkkuudella urakkalaskenta halutaan suorittaa?**

Ensimmäiseen kysymykseen saadut vastaukset olivat ristiriitaisia. Kaksi urakoitsijoista vastasi, että ei ole urakoitsijan edun mukaista tavoitella urakalle suurempaa katetta tekemällä suurta määrää lisätöitä. Lisätyöt joudutaan kuitenkin aina perustelemaan tilaajalle, mikä tarkoittaa, että maksun saaminen ei ole aina itsestään selvää. Tämä johtuu siitä, että urakoitsijan ja tilaajan näkemys mm. työn keskeytymisestä ja sen kustannusvaikutuksesta voi olla huomattavan erilainen. Yksi urakoitsijoista vastasi

kuitenkin, että lisätöiden tekeminen voi olla joissakin tapauksissa urakoitsijalle kannattavaa.

Osa urakoitsijoista totesi haastattelun aikana, että tilaajilla on urakoitsijoista sellainen mielikuva, että urakoitsijat pyrkivät tarjoamaan halpaa urakkaa ja hankkimaan lisätöitä. Tämän näkökulman maininneiden urakoitsijoiden mukaan väite ei pidä paikkaansa.

Urakkalaskennan tarkkuudesta oli tavoite yhdellä haastatelluista urakoitsijoista. Heillä oli tavoitteena saavuttaa omissa kustannusarvioissaan 5-10 % tarkkuus kullekin työosalle. Muut urakoitsijoista eivät olleet suuresti kiinnostuneita siitä, onko urakkahinta tarkka. Tärkeämmäksi koettiin, että urakkahinta on riittävän alhainen tarjouskilpailun voittoon.

## **4.8 Lisäkustannusten syntyminen**

### **mitkä tekijät synnyttävät eniten lisäkustannuksia urakoissa?**

Urakoitsijan kannalta lisäkustannuksia synnyttävät eniten työnaikaisten lujitusten ja katkojen lyhentämisen aiheuttamat aikataulusidonnaiset kustannukset. Kustannukset nousevat, koska työmaan ylläpito voi maksaa urakoitsijalle urakan koosta riippuen 10 000 – 30 000 €/päivä. Materiaalikustannukset työnaikaisissa lujituksissa ovat huomattavan pieniä verrattuna niiden mahdollisesti aiheuttamaan aikataulun pidentymiseen. Jos työnaikaiset lujitukset ovat sellaisia, ettei niitä ole ennakoitu urakkalaskentavaiheessa, johtaa työnaikainen lujittaminen usein lisätyövaateeseen.

## **4.9 Yhteenveto**

Kyselyn ja kirjallisuusaineiston perusteella kallioperätutkimusten teettämisestä on hankkeen eri osapuolille hyötyä. Kallioperätutkimusten teettämisen hyödyt ja haasteet ovat seuraavanlaisia:

### **Tilaaja:**

- hankkeen todellinen laajuus voidaan arvioida paremmin
- hankkeen kustannusennuste on realistisempi, mitä suuremmalla määrällä tutkimusdataa kallioperäennuste on tehty
- kattavat tutkimukset helpottavat tarjousaineiston laadinnassa
- tarjoukset ovat keskenään tasavertaisempia
- hankkeen aikana ei tarvitse maksaa töistä, joita ei ollut suunniteltu
- olosuhdemuutoksista johtuvien lisälaskujen määrän pitäisi olla pienempi
- potentiaaliset ongelmat kallioperässä voidaan selvittää ennen rakentamista -> vähemmän lisätöitä/ muutos suunnitelmiin
- riitautuminen urakoitsijan kanssa työn aikana on epätodennäköisempää, kun hanketta varten on teetetty kattavat tutkimukset

### **Suunnittelija:**

- kallioperäennuste, joka perustuu kattaviin tutkimuksiin, on todennäköisesti lähempänä todellisuutta, kuin ennuste, joka pohjautuu vain muutamaaan kairaukseen
- suunnitelmista voidaan jo urakkalaskentavaiheessa tehdä selkeät versiot
- suunnittelu helpottuu, mitä varmemmin kallion parametreja on määritelty

**Urakoitsija:**

- tarjouslaskenta on helpompi suorittaa
- ei ole niin suurta pelkoa, että kilpailija alihinnoittelee, jos hankealue on tutkitaan kunnolla ja kallioperästä tehdään kunnan yhteenvetoraportit joissa esitetään epäilty heikkousvyöhykkeet, ja näille määritellään mahdollisimman kattavat lujitukset ja tiivistykset
- tarjouskilpailussa ei tarvitse hinnalla varautua niin suuriin epävarmuuksiin, jolloin kaikki urakoitsijat voivat tehdä tarjoukset samalta viivalta
- hankkeen aikataulun suunnittelu helpottuu, kun olosuhteet ovat mahdollisimman hyvin tiedossa
- riitautuminen tilaajan kanssa on epätodennäköisempää, kun resurssiarviot on pystytty tekemään hyvien suunnitelmien pohjalta

**Haasteet:**

- tutkimusten tulosten tulkinta on usein muutaman ihmisen tekemä, ja voi olla virheellinen
- kattavillakaan tutkimuksilla ei välttämättä löydetä kaikkia rikkonaisuusvyöhykkeitä ja aina on mahdollisuus kohdata *'musta joutsen'*
- lisätutkimuksilla ei välttämättä saavuteta lisähyötyä suunnittelun ja hankkeen laajuuden määrittämisen kannalta
- kattavien tutkimusten teettäminen on aikaa vievää, koska tutkimukset tulisi tehdä useassa vaiheessa
- pohjavesiolosuhteiden ja kallion tiiveyden määrittäminen on hankalaa
- geologia ei ole ainut tekijä joka vaikuttaa maanalaisten kohteiden/tunnelien sijoitteluun
- usein poliittiset syyt, tai olemassa olevien asuinalueiden sijainti voi aiheuttaa sen, että kohde joudutaan rakentamaan paikkaan, joka ei ole kallioteknisesti paras mahdollinen
- kaupunkialueella tutkimusten tekeminen voi olla hankalaa



## 5 Kallioperätutkimukset, tutkimuskustannukset ja rakentamiskustannukset Länsimetro-hankkeessa

### 5.1 Yleistä

Länsimetro kytkee valmistuttuaan Espoon eteläosat osaksi Helsingin olemassa olevaa metrolinjaa. Tällä hetkellä rakenteilla oleva linjaus jatkaa metroa Ruoholahdesta Matinkylään (Länsimetro, 2008). Länsimetron rata- ja asemalouhinnat on jaettu 11 erillisesti kilpailutettuun louhintaurakkaan LU1-LU10, joista LU6 on jaettu kahtia LU6E:n ja LU6P:n. Metrotunnelien ja asemien louhintatyöt valmistuvat vuoden 2014 keväällä. Liikennöinti on tarkoitus aloittaa syksyllä 2016 (Länsimetro, 2014a).

**Taulukko 3: Länsimetron louhintaurakat.**

LU1	Matinkylän asema- ja metrotunneliurakka
LU2	Niittykummun asema- ja metrotunneliurakka
LU3	Urheilupuiston asema- ja metrotunneliurakka
LU4	Tapiolan asema- ja metrotunneliurakka
LU5	Otaniemen asema- ja metrotunneliurakka
LU6P	Keilaniemen asema- ja metrotunneliurakka
LU6E	Karhusaaren metrotunneliurakka
LU7	Koivusaaren asema- ja metrotunneliurakka
LU8	Lauttasaaren metrotunnelien ja aseman louhintaurakka
LU9	Ruoholahden metrotunneliurakka
LU10	Lauttasaaren salmen alittava metrotunneliurakka

Kokonaisuudessaan Länsimetron ratalinjauksen pituus on n.14 km joten louhittavaa metrotunnelia koko hankkeen alueella on 28000 m. Asemia hankkeen alueella on 8. Metrotunnelien ja asemien louhinnan lisäksi Länsimetron ajotunnelit on jaettu erillisiin louhintaurakoihin, tunneliosuudet ja asemat on jaettu erillisiin rakennusurakoihin. Lisäksi sähkö- ja LVI-työt on jaettu asemien ja koko metrotunnelin osalta erillisiin urakoihin. (Länsimetro, 2008)

### 5.2 Tarkasteltavat urakat

Työssä tarkastellaan viittä Länsimetron urakkaa. Taulukossa 4 on esitetty tarkasteltavien urakoiden tunnuslukuja.

**Taulukko 4: Länsimetron urakoiden tunnuslukuja.**

Urakka	Metrotunnelin pituus osuudella (m)	Kuulujen määrä osuudella (ei sis. aseman kuiluja)	Asema	Merenalitus	Raiteenvaihtohalli	Ratatunnelien louhintakuutiot (jälkianalyysien mukaan) (m <sup>3</sup> )
LU3	2400	0	on	ei	on	79553
LU6E	2648	3	ei	osittain	ei	102803
LU6P	2580	1	on	ei	on	131410
LU9	1468	1	ei	ei	ei	64460
LU10	768	0	ei	kokonaan	ei	36738

### **LU3**

Urheilupuiston asema- ja metrotunneliurakassa aseman louhintatyöt tehtiin avolouhintana. Aseman louhinnan lisäksi urakkaan kuuluu raiteenvaihtohalli. LU3:n lähtötiedot eroavat muista tarkastelun kohteena olleista urakoista siten, että kaikki urakkasuunnitelmissa ja toteutussuunnitelmissa esitetyt lujitusluokat ovat täysin vastaavia. Muissa käsitellyissä urakoissa lujitusluokkia pystyy vertaamaan suoraan urakkalaskenta- ja toteutussuunnitelmien välillä. LU3:ssa muuttuneet lujitukset on esitetty pelkästään työn aikaisissa suunnitelmissa, joten toteutuneet lujitukset on tarkistettu työn aikaisista suunnitelmista ja muokattu vastaamaan ennalta määrättyjä lujitusluokkia mahdollisimman hyvin. LU3:n lujitussuunnitelmissa on rataprofiilille määritelty a-d lujitusprofiilit. Työn aikaisissa suunnitelmissa kuitenkin esiintyy huomattavasti vahvempia lujituksia kuin määritelty d-profiili. Täten työn aikaisissa suunnitelmissa #1000 jaolla määritellyt pultit on määritelty e-profiiliksi ja #500 jaolla määritellyt pultit f-profiiliksi.

### **LU6E**

Karhusaaren metrotunneliurakka sisältää metrotunnelin lisäksi kolme kuilua. Urakassa on myös merenalitusosuutta noin 150 m matkalla. Määrällisesti suurin osa kairauksista on tehty merenalitusosuudelle, mutta kairasydännäyhteitä on maanalaiselta sekä merenalaiselta osuudelta suunnilleen yhtä paljon.

### **LU6P**

Keilaniemen asema- ja metrotunnelin louhintaurakka on jaettu kahteen suunnittelualueeseen. Sekä urakkalaskenta- että toteutussuunnitelmat paaluväleillä LE5640-LE6293 ja LE6293-LE6930 ovat peräisin eri toimistolta. Tämä tarkoittaa, että suunnitellut lujitusprofiilit on tehty kussakin osassa hieman eri tavalla. Merkintätavat ja lujitusprofiilit ovat lisäksi työaikana muuttuneet. Analyysia varten molempien suunnittelupätkien merkintätavat yhdenmukaistettu, jotta koko louhintaurakan aineistoa pystyttäisiin käsittelemään samassa. Urakan kustannukset on saadussa aineistossa jo alun perin esitetty niin, että aineisto sisältää suunnittelurajan molemmat puolet, minkä takia suunnittelualueet täytyy yhdistää kalliolaatu- ja tutkimusaineiston osalta.

Louhintaurakan aikana urakan eteläpäässä kohdattiin odottamattoman huonoa kalliota, jonka takia ratatunneleihin yhtyvää ajotunnelia jouduttiin pidentämään ja kalliota lujittamaan työnaikaisesti huomattavan raskaasti. Tutkituista urakoista LU6P:ssä tämä yksittäinen ruhje on aiheuttanut suurimmat lisätyöt.

### **LU9**

Ruoholahden louhintaurakka jatkaa metrotunneleita Ruoholahdesta länteen. Tässä urakassa louhittu metrotunneli sijoittuu pitkältä matkalta Helsingin kaupungin läntiselle alueelle, jonne on tehty kallioperätutkimuksia mm. Salmisaaren kivihiilivarastojen louhinnan yhteydessä. Lisäksi noin 500 metrin matkalla ratatunneleiden välissä kallioseinämän takana sijaitsee Ruoholahden raiteenvaihtohalli. Raiteenvaihtohallin sijaitsee louhittuihin ratatunneleihin nähden niin lähellä, että raiteenvaihtohallin viereiselle pätkälle ei ole tarvinnut tehdä erikseen tutkimuksia. Lisäksi Salmisaaren alueella on runsaasti olemassa olevia kalliotiloja, joten kallioperän ominaisuudet ovat olleet hyvin tiedossa ennen louhintaa, eikä urakkaa varten ole juurikaan tehty omia tutkimuksia.

## LU10

Louhintaurakka 10 on metron merenalitus Ruoholahden ja Lauttasaaren välillä. Yhteensä välillä on tunnelia 768m. LU10 toteutusvaiheeseen on lisätty c- ja d-lujitusprofiilien väliin c2-profiili ja kaikki potentiaalisesti d-lujitusluokkaa olevat alueet on lujitettu c2-profiilin mukaan. Koska lujitusmäärältään c2-lujitusprofiili vastaa urakkalaskentavaiheen d-profiilia ja profiilien ero on käytetyissä pulttityypeissä, on kaikki toteutusvaiheen c2-profiilit muutettu d-profiileiksi, jotta dataa voidaan käyttää kalliolaadun muutosten, eikä käytetyn pulttityypin arviointiin.

### 5.3 Kallioperätutkimukset Länsimetro-hankkeessa

Koko Länsimetron suunnittelussa lähtötietoina on käytetty GTK:n, Espoon kaupungin ja Helsingin kaupungin kallioperäkartoja sekä GTK:n laatimaa rikkonaisuusarviota välillä Matinkylä-Ruoholahti. Ennen suunnittelun aloittamista aiemmin tehtyjä tutkimuksia koko Länsimetron laajuudelta on ollut käytettävissä taulukon 5 mukaisesti. (Länsimetro, 2008)

**Taulukko 5: Länsimetron käytettävissä olleet tutkimukset hankkeen alussa (Länsimetro, 2008)**

Tutkimus	Määrä	Yksikkö
Kalliopinnan varmistukseen liittyvät kairaukset	4600	kpl
Kallionäytekairaukset	vähäinen, kairauksia vain Lauttasaaren salmesta ja Otaniemestä	kpl
Seismiset refraktioluotaukset	6600	m
Jännitystilamittaukset	vähäinen, mittaustietoja Tapiolasta ja Salmisaaresta	kpl

Mittaustietoja hankkeen alussa on ollut käytettävissä rajallinen määrä, eivätkä tutkimukset jakaannu tasaisesti ratalinjauksen koko alueelle. Olemassa olevat tiedot ovat kohtuullisia kalliopinnan sijainnin määrittelyyn, mutta antavat vain vähän tietoa kalliolaadusta. Hankesuunnitteluvaiheessa (Taulukko 5) käytössä olleita tutkimuksia täydennettiin ohjelmoimalla lisää tutkimuksia hankkeen alueelle. Hankesuunnitteluvaiheessa ohjelmoidut lisätutkimukset on esitetty taulukossa 6. (Länsimetro, 2008)

**Taulukko 6: Länsimetron hankesuunnitteluvaiheessa ohjelmoidut tutkimukset (Länsimetro, 2008).**

Tutkimus	Määrä	Yksikkö
Porakonekairaukset kuivalla maalla	1124	kpl
Porakonekairaukset lautalla	255	kpl
Geotekniset kairaukset	143	kpl
Kallionäytekairaukset <ul style="list-style-type: none"><li>• kuivalla maalla</li><li>• lautalla</li><li>• yhteensä</li></ul>	67 8 4931	kpl kpl m
Jännitystilamittausreiät asemille	16 480	kpl m
Seismiset refraktioluotaukset	8820	m
Maatutkaluotaukset	3892	m

Kairauksista suuri osa ja jännitystilamittauksista kaikki ovat keskittyneet asemien kohdalle, jotka ovat kohteista kallioteknisesti haastavimpia. Lisäksi tarkkaan tutkittuja osuuksia ovat merenalitukset, sekä kuilujen kohdat. Tutkimukset eivät kata ratalinjauksen jokaista metriä, ja hankkeessa onkin ollut useiden satojen metrien mittaisia tutkimattomia kaistoja. Hankesuunnitteluvaiheen jälkeen on Länsimetroon ohjelmoitu vielä lisätutkimuksia kohteisiin, joissa saadut tutkimustulokset ovat osoittaneet lisätutkimukset tarpeelliseksi. Taulukossa 7 on eritelty tässä työssä tarkasteltavien urakoiden urakkalaskentavaiheeseen mennessä valmistuneet tutkimukset. Nämä ovat ne tutkimusmäärät, joilla tämän työn analyysit on tehty. Taulukko sisältää myös tutkimukset, jotka on tehty aiemmin muiden hankkeiden yhteydessä.

**Taulukko 7: Hanke- ja rakennussuunnitteluvaiheessa käytössä olleet tutkimukset urakkakohtaisesti.**

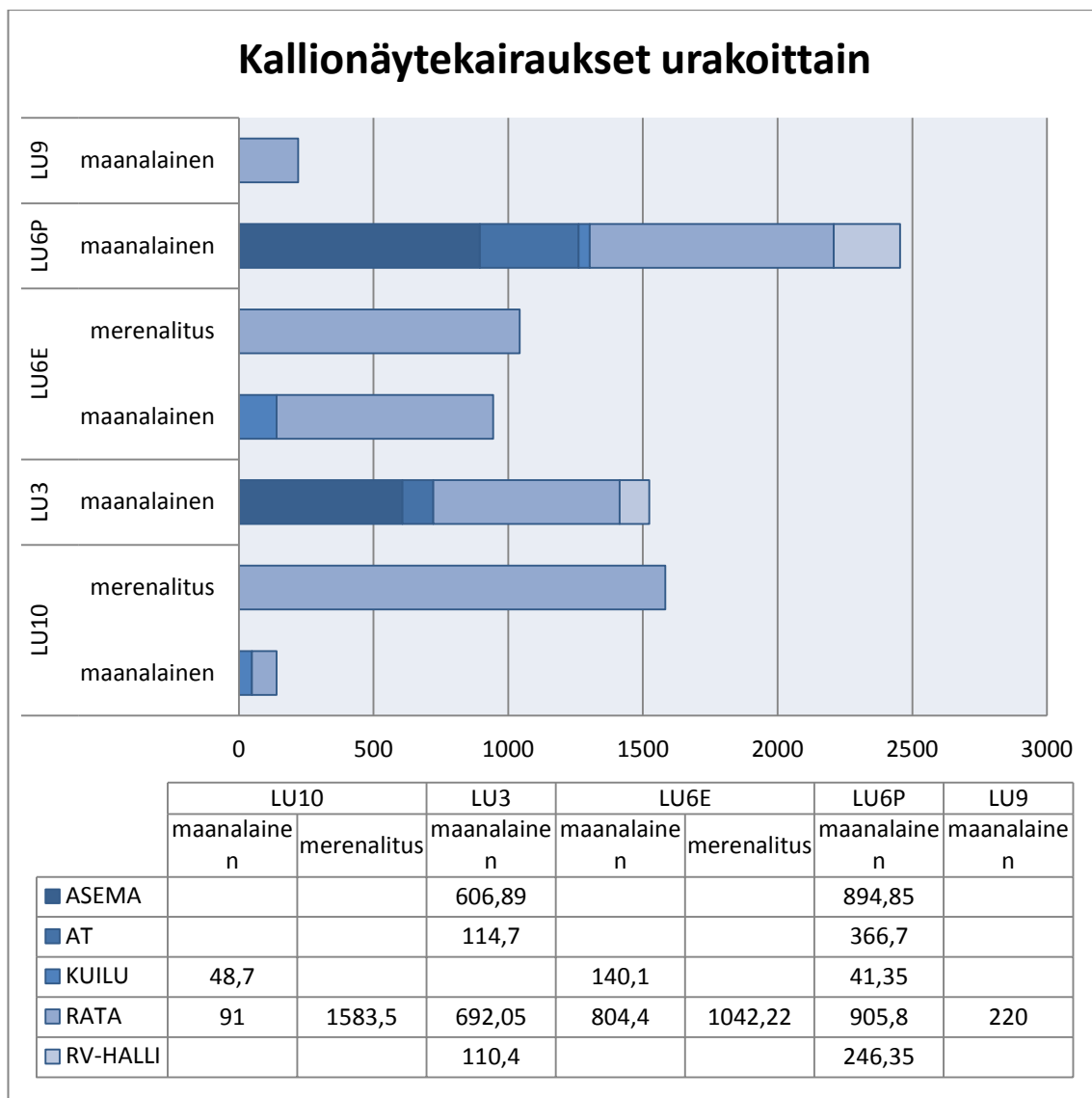
Urakka	LU9	LU3	LU6P	LU6E	LU10	Summa
<b>Läheisten porakonekairausten määrä (kpl)</b>	152	101	307	393	96	1049
<b>Kallionäytekairaukset (kpl)</b>	3*+1	20	31	25	16	96
<b>Jännitystilamittaukset</b>	1*	2	2	0	0	5
<b>Maatutkaluotaukset (kpl)</b>	0	3	4	0	0	7
<b>Seismiset luotaukset (kpl)</b>	0	7	8	7	8	30

\*= tutkimukset on tehty Salmisaaren kivihiilivaraston suunnittelua varten

### 5.3.1 Kallionäytekairaukset

Käytetyistä tutkimusmenetelmistä kallionäytekairaukset on ainoa menetelmä, jolla kalliosta saadaan konkreettisia näytteitä kallioperästä. Kairasydännäytteet antavat selkeimmän kuvan paikallisesta kairauksia ympäröivästä kalliolaadusta. Kallion louhittavuuden määrittämisessä kairaukset ovat tärkein yksittäinen menetelmä. Suoritettujen kallionäytekairausten määrä on myös kuvaava pohdittaessa hankkeen kokonaistutkimusmääriä. Hankkeessa, jossa kallionäytekairauksia ei ole suoritettu kattavasti, ei todennäköisesti myöskään ole tehty muita tutkimuksia kattavasti. Erityisesti tämä koskee tutkimuksia, jotka vaativat toteutuakseen valmiiksi kairatun reiän ja seismisiä tutkimuksia, joiden analyysissa kallionäytekairausten tuloksia tulisi käyttää tukena. Tästä johtuen tässä työssä aineiston analyysissa keskitytään kallioperätutkimusten määrään suhteessa hankkeiden muihin tunnuslukuihin.

Tulkittuja kallionäytekairauksia tutkituissa urakoissa oli käytettävissä ennen urakkalaskentaa 96 kpl joiden yhteispituus on 7964 m. Kairausten määrä on arvioitu urakkalaskentakuvien, toteumakuvien, sekä kairauspöytäkirjojen perusteella. Lisäksi kuvien perusteella on arvioitu minkä rataosan (asema, rata, kuilu, ajotunneli, raiteenvaihtohalli) kalliolaatua näytteellä pyritty ensisijaisesti selvittämään. Aineistoon on sisällytetty ne kallionäytekairaukset, joista on tehty kairauspöytäkirja ennen kunkin urakan urakkalaskentakuvien valmistumista. Tutkituissa urakoissa tehdyt kallionäytekairaukset on esitetty kuvassa 11.



**Kuva 11: Tutkituissa urakoissa suoritettut tutkimukset ennen urakkalaskentaa.**

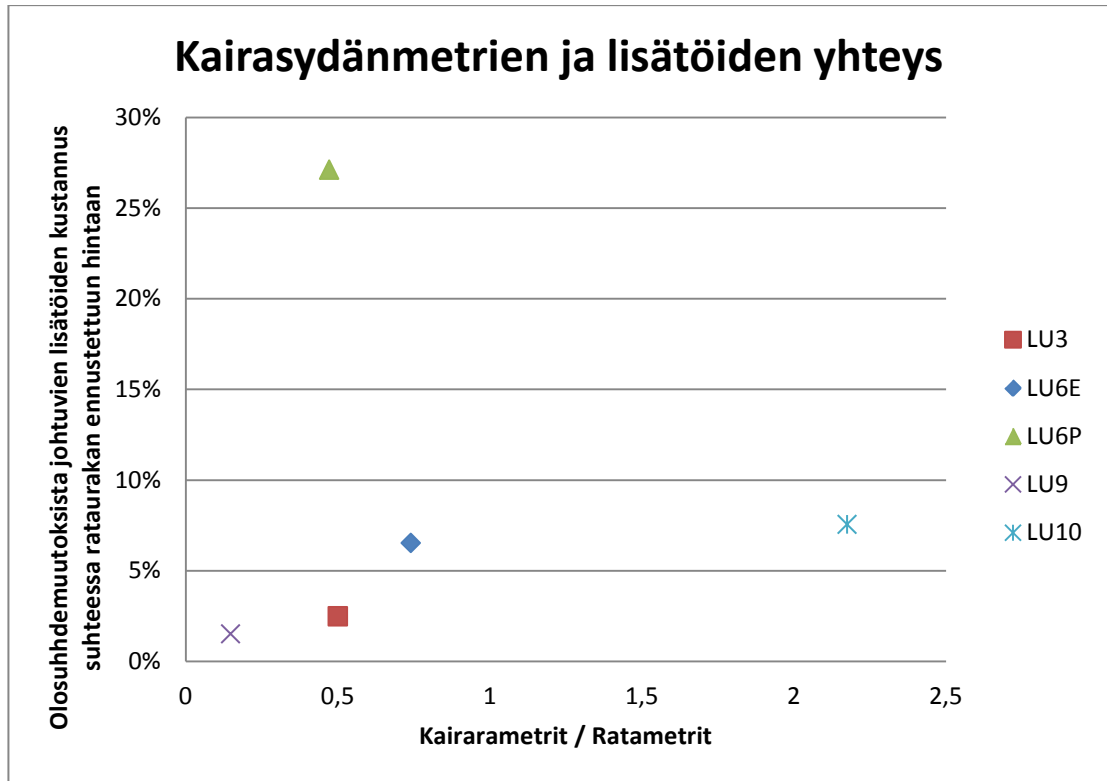
Selvästi pienin määrä kairauksia on tehty LU9 urakkaan, joka sijaitsee Ruoholahdessa alueella, jossa on tehty aiemmin suuria kalliorakennuskohteita. Lisäksi molemmat LU9:n metrotunnelit kulkevat lähes 600 metriä alueella, jonka välittömässä läheisyydessä on aiemmin rakennettuja kalliotiloja. Lähtökohdat suunnitteluvaiheessa ovat siis olleet sellaiset, että lisätutkimuksia ei ole tarvittu kalliolaadun selvittämiseksi. Näin ollen LU9:n alueella ei ole tehty lainkaan kallionäytekairauksia Länsimetro-projektia varten. Metrotunnelin välittömässä läheisyydessä on kuitenkin kolme kallionäytekairausta, jotka on kairattu Salmisaaren kivihiilisiilojen suunnittelua varten.

Muissa urakoissa kallionäytekairauksia on tehty. LU3 ja LU6P urakoissa kairauksia on tehty rataosuudelle, raiteenvaihtohalliin sekä asemille. Ajotunneli on molemmissa urakoissa aseman läheisyydessä, joten niihin suunnatut tutkimukset palvelevat myös asemien kalliolaadun määrittämistä.

LU10:n ja LU6E:n kallionäytekairausten suurta määrää rataosuudella selittää se, että molemmissa urakoissa tunneli alittaa meren. Merenalituskohdat on kairattu huomattavan tiheästi verrattuna muihin metrotunneliosuuksiin.

#### 5.4 Kairasydänmetrien ja lisätöiden korrelaatio

Yksi työn tavoitteista on löytää vastaus kysymykseen: Onko kallioperätutkimusten määrällä ja kallioperäteknisistä syistä johtuvien lisätöiden määrällä yhteyttä. Kuvassa 12 vaaka-akseli kuvaa kairametrien ja ratametrien suhdetta. Pystyakseli kuvaa lisätöiden kustannusten suhdetta rataosuuden urakkahintaan.



Kuva 12: Kairasydänmetrien ja kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden välinen riippuvuus.

Asemat ja kuilut on jätetty aineiston ulkopuolelle kairametrien, tunnelimetrien, lisätöiden sekä kustannusten osalta. Työhypoteesin mukaan lisätöiden suhteellisen kustannuksen tulisi laskea kairametrien funktiona. Koska otoksia on vain viisi, ei tilastollista johtopäätöstä pystytä aineiston pohjalta kuitenkaan tekemään. Kuvasta ei myöskään suoraan nähdä selkeää yhteyttä kairausmäärän ja lisätutkimusten välillä. Oletukselle ei näin ollen löydetä tukea.

## 5.5 Ennustetun ja todetun kalliolaadun ero

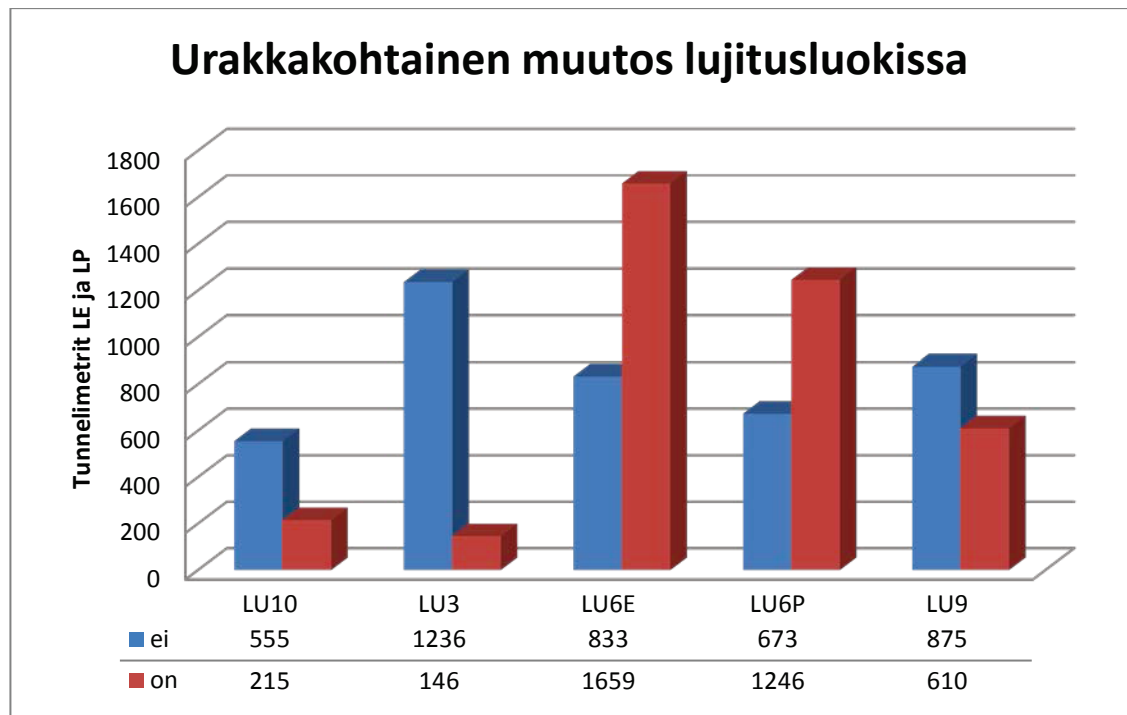
Tässä kappaleessa verrataan urakoittain kuinka paljon todettu kalliolaatu poikkeaa ennustetusta. Kalliolaadun indikaattorina käytetään urakkalaskenta- ja toteutusvaiheessa määriteltyjä lujitusluokkia (Länsimetro, 2014d), koska urakkalaskentavaiheessa ei linjaukselta ole tehty kalliolaatukarttoja. Aineistosta on poistettu asemat, kuilut ja raiteenvaihtohallit. Urakasta riippuen tunnelit on urakkalaskentavaiheessa jaoteltu 3-6 systemaattiseen lujitusprofiiliin (esimerkiksi a, b, c, d ja e) joista a-profiilia käytetään hyvän kallion lujittamiseen ja e-profiilia erittäin huonon kallion lujittamiseen. Kussakin urakassa on käytetty hieman eri määrää profiileja ja eri urakoissa vastaavalla kirjaimella merkityt profiilit voivat olla lujitettu hieman eri tavoin, mutta kuitenkin aakosissa edetessä kalliolaatu heikkenee. Esimerkiksi LU6P:n pohjoisemman suunnittelualueen lujitusluokat on urakkalaskentavaiheessa määritelty Q-luvun mukaan seuraavasti:

- a-lujitusluokka:  $Q > 10$
- b-lujitusluokka:  $Q = 4-10$
- c-lujitusluokka:  $Q = 1-4$
- d-lujitusluokka:  $Q = 0,4-1$
- e-lujitusluokka:  $Q = 0,1-0,4$
- f-lujitusluokka:  $Q < 0,1$

Muutos lujitusprofiilissa tarkoittaa siis, että kalliolaatu kyseisessä kohdassa on ollut parempaa tai huonompaa, kuin on oletettu. Injektointimääriä ei ole urakkalaskentavaiheessa arvioitu yhtä selkeästi, vaan injektointi on usein määritelty tehtäväksi tunnusteluporauksen perusteella. Täten injektointiprofiileja ei voida käyttää kalliolaadun indikaattorina.

Lujitusprofiilien käyttäminen kalliolaadun indikaattorina on kuitenkin ongelmallista ja voi aiheuttaa virhettä analyysin tuloksiin. Kussakin urakassa lujituksen on suunnitellut eri henkilö, mistä johtuen lujitusprofiilit poikkeavat toisistaan urakoita vertailtaessa. Lisäksi kunkin työmaan käytännöt työnaikaisessa suunnittelussa poikkeavat toisistaan. Toisessa urakassa suunnittelija käy työmaalla joka toinen päivä, toisessa urakassa suunnittelija käy työmaalla kerran viikossa urakoitsijan toiveesta. Ensin mainittu malli voi nostaa tilaajalle aiheutuvia suunnittelukustannuksia, mutta saattaa samalla laskea tarvittavan lujituksen määrää, jos todetaan kalliolaatu ennustettua paremmaksi, ja käytettyä lujitusluokkaa alennetaan.

Lujitusprofiilien sijasta olisi yhtenäisempää vertailla ennakkoon arvioitua Q-lukua ja työn aikana kartoitettua Q-lukua. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, koska ratalinjaukselta ei ole ennakkoon tehty Q-lukukarttaa, vaan RG-luokitukseen perustuva ruhjetulkinta. Urakoiden muuttuneet lujitusluokat esitetään kuvassa 13. Tarkempi erittely urakkakohtaisista lujitusluokkien muutoksista esitetään liitteessä 2.

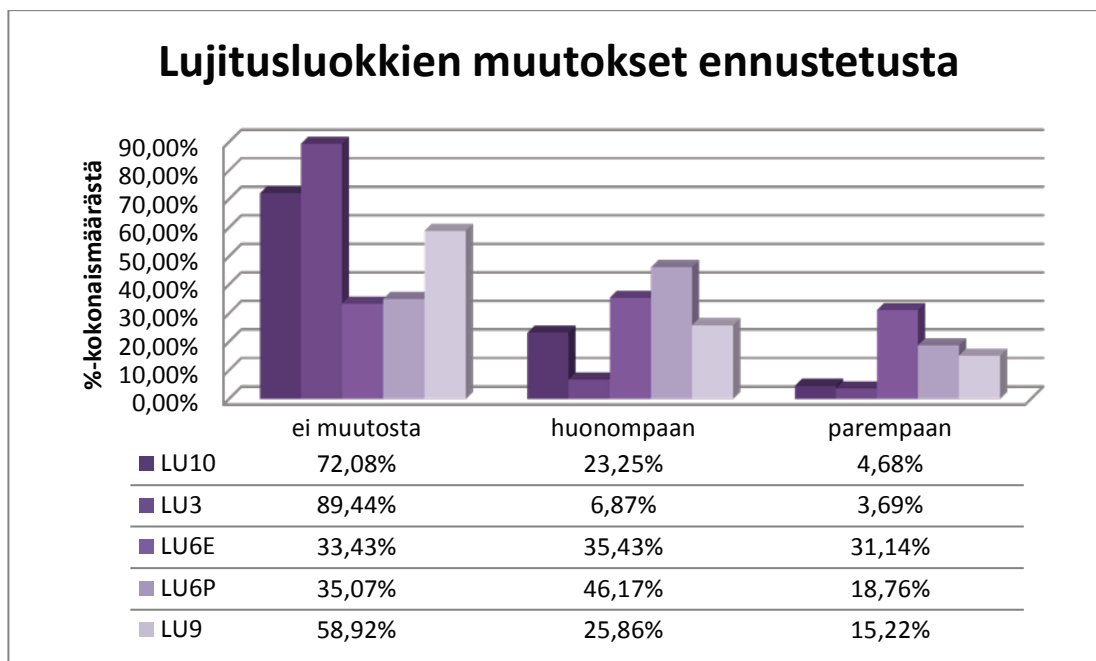


**Kuva 13: Muutokset lujitusluokissa urakoittain.**

Kuva 13 osoittaa kuinka pitkältä matkalta lujitusluokka on muuttunut urakoittain. Sininen palkki esittää kuinka monella metrillä toteutunut lujitus vastaa ennustettua ja punainen, kuinka monelta metriltä toteutunut lujitus poikkeaa alkuperäisestä. Asemia, raiteenvaihtohalleja ja kuiluja, eli urakkaosuuksia, jotka eivät ole pelkkää metrotunnelia, ei sisälly tähän tarkasteluun.

Urakoiden kesken näyttää LU6E ja LU6P urakoissa tapahtuneen huomattavasti enemmän kalliolaadun muutoksia, kuin muissa urakoissa. Toisaalta LU3 louhintaurakassa muutoksia näyttää olevan huomattavan vähän. Yhtenä vaikuttavana tekijänä voidaan pitää sitä, että eri urakoiden suunnitelmat ovat eri suunnittelutoimistoilta peräisin. Urakoista LU6E:n ja LU6P:n suunnitelmat ovat pääosin saman suunnittelutoimiston laatimia, mutta LU6P urakka on suunnittelun osalta jaettu puoliksi kahden suunnittelutoimiston kesken. Eriävät käytännöt suunnittelutavoissa, työmaakäynneissä ja muutosten merkinnässä aiheuttavat varmasti oman osansa eroista. LU3:n muutosten vähyyttä selittää osittain se, että lisälujitukset ja muutokset on esitetty pelkästään työnaikaisissa suunnitelmissa. Lisäksi LU3-urakassa muutoksia lujitukseen on tehty pelkästään niin, että lujitusten määrää on lisätty. Muissa urakoissa muutoksiin sisältyy myös ne osat tunnelia, joissa lujitusta on vähennetty suunnitelmiin nähden. Suurin osa muutoksista on kuitenkin huonompaan kalliolaatuun päin, kuten nähdään kuvassa 14.

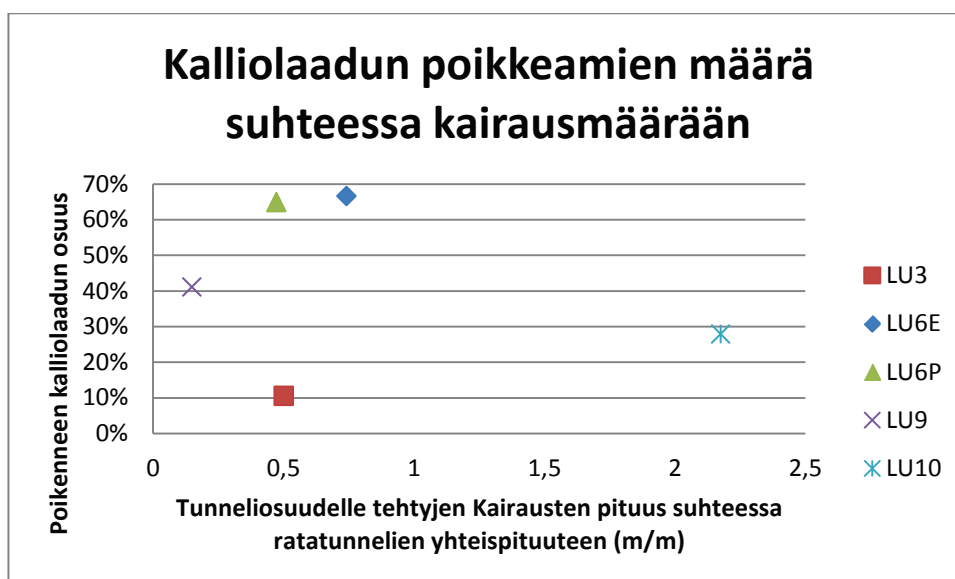




Kuva 14: Muutosten suunta tarkasteltujen urakoiden rataosuuksilla.

#### 5.5.1 Lujitusluokkien muutokset suhteessa tutkimusmääriin

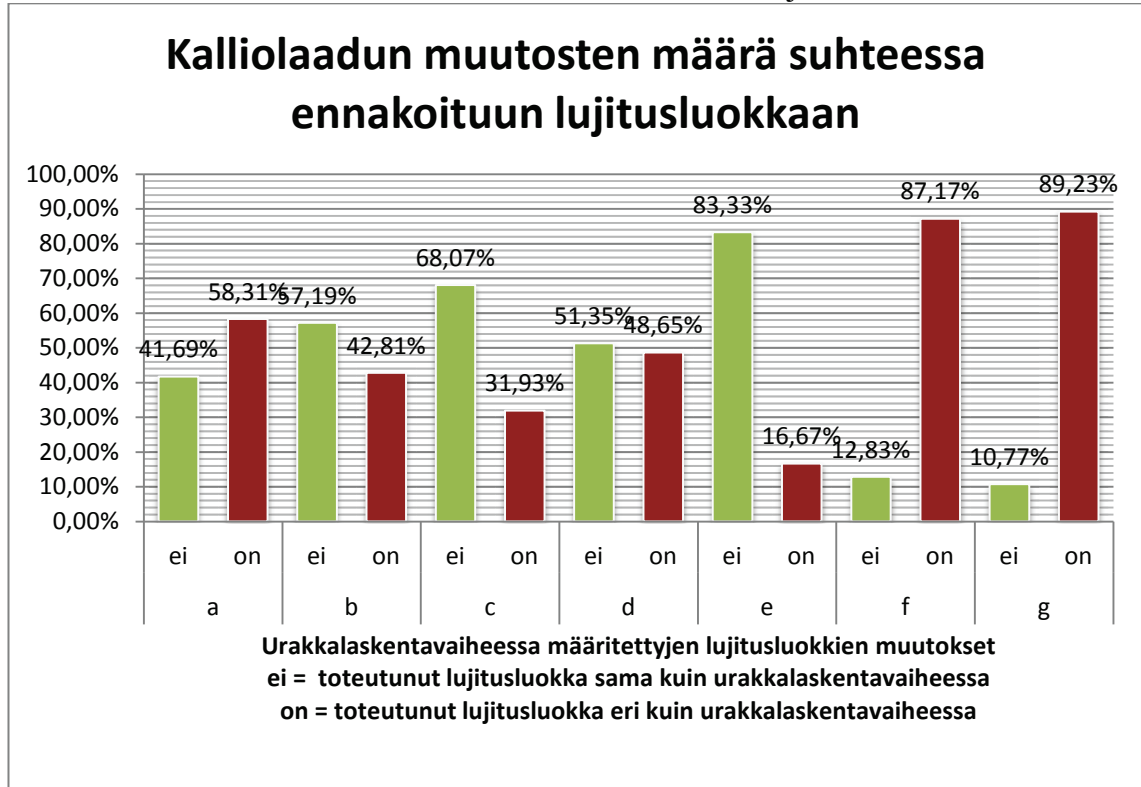
Tutkimushypoteesin mukaisesti kalliolaatu tunnetaan sitä paremmin, mitä enemmän tutkimuksia on tehty. Tämä tarkoittaa, että muutoksia kalliolaadussa tulisi olla vähemmän niillä osuuksilla, joista on tehty kattavammat tutkimukset ja analyysit urakalaskentavaiheessa. Tutkittujen urakoiden osalta muutoksien määrään vaikuttaa jonkin verran tapa, jolla muutokset suunnitelmassa ilmaistiin. Kuva 15 osoittaa, että tutkituissa urakoissa rataosuuksilla kairausmäärissä ei selkeästi huomata, että muutoksia olisi enemmän kairatulla osuuksilla enemmän. Aineistoa tarvittaisiin huomattavasti useammasta urakasta, jotta tilastollisia päätelmiä voitaisiin tehdä.



Kuva 15: Kalliolaadun poikkeamien määrä suhteessa kairausmäärään.

### 5.5.2 Lujitusluokkien muutokset suhteessa ennustettuun kalliolaatuun

Oletettavasti kalliolaadun poikkeamia tapahtuu enemmän niillä alueilla, joissa kalliolaatu on lähtökohtaisesti huonompaa. Kuva 16 esittää kaikkien tutkittujen Länsimetron urakoiden osalta muutokset suhteessa kunkin lujitusluokan määrään.



Kuva 16: Lujitusluokkien muutokset lujitusluokkakohtaisesti.

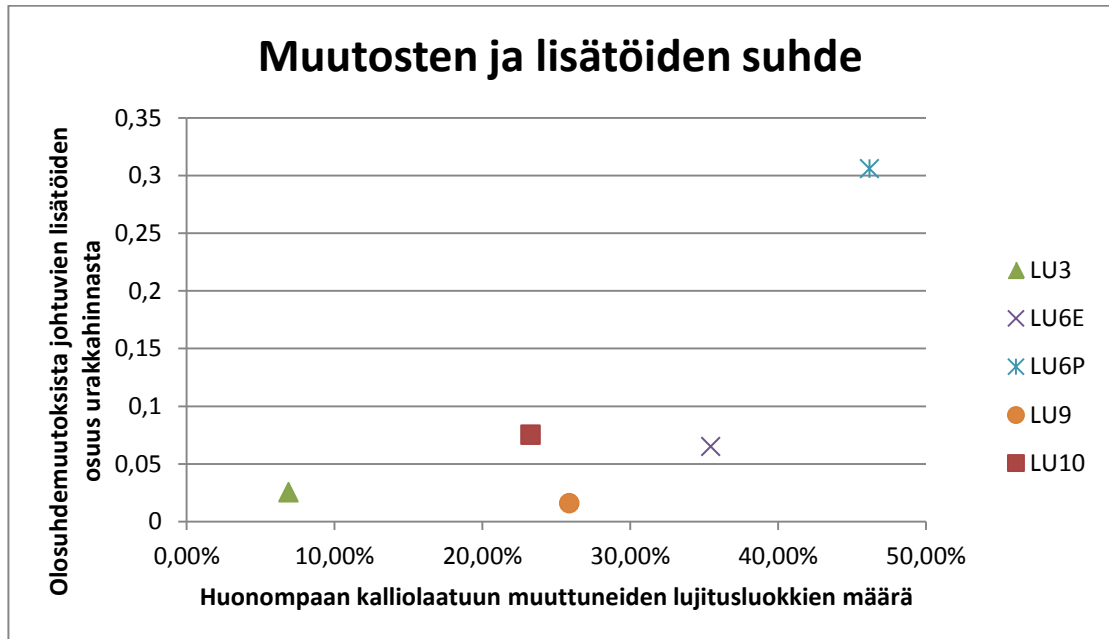
Eniten muutoksia suhteessa urakalaskentavaiheissa määritettyjen lujitusluokkien määrään on kaikista heikoimmilla alueilla (lujitusluokat f ja g). Muutosten määrää a-luokassa selittää osittain se, että LU10 urakkaosuudella kaikki urakkavaiheissa määritellyt a-lujitusluokan tunneliosuudet on toteutusvaiheessa muutettu, eikä a-lujitusluokkaa ole toteutusvaiheessa käytetty ollenkaan. Kuitenkin tarkastellessa kaikkia urakoita yksilöllisesti, vaikuttaa siltä, että kaikissa urakoissa tendenssi on vastaavanlainen, kuin kuvassa 16:

- Eniten muuttuvat lujitusluokat heikoimmaksi ja parhaimmaksi luokitellun kallion osalta.

Parhaimmaksi luokitellun (a-lujitusluokka) kalliolaadun osalta tätä selittää se, että lujitusluokka ei voi muuttua juurikaan paremmaksi, jolloin lujitusluokan muuttuminen johtaa välittömästi lujitusmäärien kasvattamiseen. Huonoimman kalliolaadun osalta selittävä tekijä on se, että näitä lujitusluokkia (f- ja g-) on urakalaskentavaiheissa määriteltä vähemmän ja siirtymä ruhjevyyhykkeessä aiheuttaa suhteessa suuremman muutoksen. Lisäksi toteutusvaiheessa on joissain urakoissa määriteltä h-profiili, joka soveltuu vielä edellä mainittuja rikkonaisemman kallion lujittamiseen.

### 5.5.3 Lujitusluokkien muutosten vaikutus lisätöiden määrään

Yleensä urakoitsija tekee lisätyövaateen, kun odottamattoman heikko kallio aiheuttaa urakoitsijalle työtä, jota ei ole määritellyt urakkasopimuksessa. Oletettavasti lisätyövaatimusten määrä kasvaa sitä myötä, mitä enemmän kalliolaadussa on muutoksia heikompaan suuntaan. Kuva 17 esittää, kuinka kalliolaadun muutokset huonompaan suuntaan vaikuttavat tutkittujen Länsimetron urakoiden kallioteknisistä syistä laskutettuihin lisätöihin.



Kuva 17: Kuvaajasta nähdään kuinka huonompaan suuntaan poikkeava kalliolaatu vaikuttaa huonontuneiden kallio-olosuhteiden laskutettujen lisätöiden määrään.

Selkeästi suurimmat lisätyöt ovat tulleet LU6P urakassa, jossa myös todettu kalliolaatu on poikennut eniten huonompaan suuntaan ennusteeseen verrattuna. Tässäkään ei voida tehdä tilastollisia johtopäätöksiä viiden pisteen perusteella, mutta visuaalisesti tarkasteltaessa yhteys kalliolaadun muutosten ja laskutettujen lisätöiden määrässä on havaittavissa. Aineisto sisältää muutoksen vain rataosuudelta, ei asemia, kuiluja tai raiteenvaihtohalleja. Lisätyökustannuksista on myös poistettu puhtaasti asemiin tai kuiluihin kohdistuvat vaateet.

## 5.6 Tutkimuskustannukset

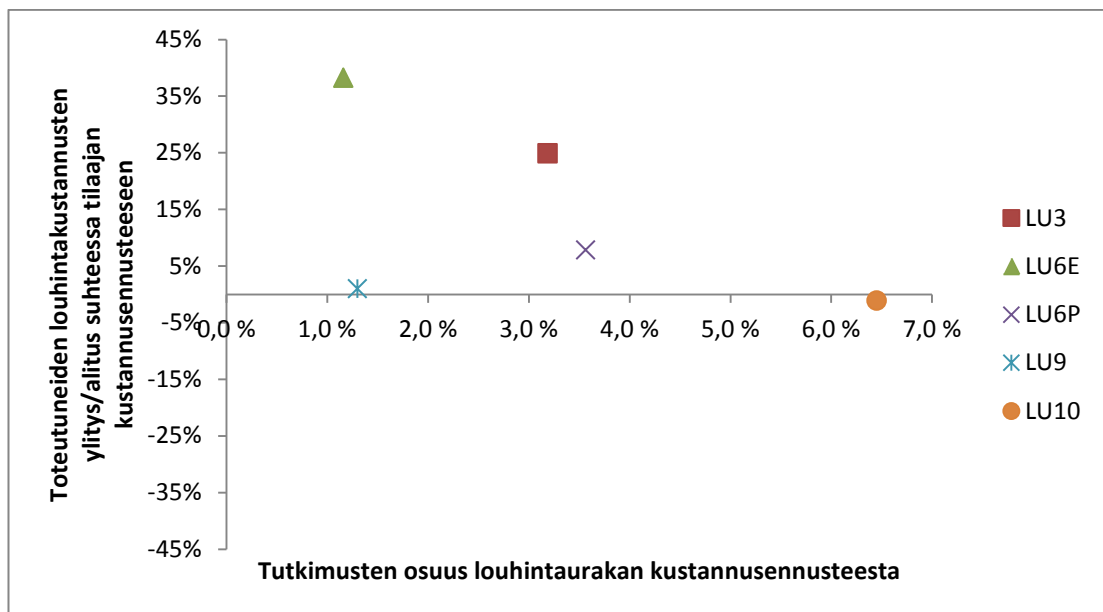
Tässä kappaleessa käsitellään Länsimetron pohjatutkimuskustannuksia. Tutkimuksia on ennen urakkalaskentavaihetta tehty taulukon 7 mukaisesti. Tutkimusmäärät on laskettu urakkalaskentavaiheen tutkimuskartoista, sekä tutkimusraporteista. Käytössä on myös ollut tutkimusohjelmanuettelon laskutustaulukko. Kaikista suoritetuista tutkimuksista on perehdytty tarkemmin kallionäytekairauksiin, joiden määrä ja tutkimuskohde pystytään määrittelemään. Urakoiden tutkimuskustannukset suhteutettuna urakoiden toteutuneeseen hintaan on esitetty taulukossa 8.

**Taulukko 8: Tutkimusten suhteellinen osuus hankkeen kustannuksista.**

Urakka	Tutkimuskustannukset suhteessa urakkaan(%)
LU3	2,5 %
LU6E	0,8 %
LU6P	3,2 %
LU9	1,3 %
LU10	6,1 %

Tarkasteltujen Länsimetron hankkeiden tutkimuskustannukset ovat 1-6 % louhintakustannuksista. Suuruusluokaltaan tutkimuskustannukset vastaava Salmelaisen (2008) toteamaa määrää. Aineisto sisältää koko urakkaosuuden, myös asemat ja tunnelit. On huomioitava, että tutkimuskustannuksista saattaa uupua joitain jälkikäteen ohjelmoituja tutkimuksia.

Amerikkalaisen tutkimuksen (UNCS/TT, 1984) mukaan hankkeen kustannusennuste on tarkempi, kun tutkimusten määrä kasvaa. Kuvassa 18 verrataan Länsimetron urakoiden tutkimuksiin käytettyä rahamäärää ja kustannusennusteen tarkkuutta. Kustannusennusteella tässä tapauksessa tarkoitetaan tilaajan määrittelemää urakkakohtaista indeksikorjattua budjettia.



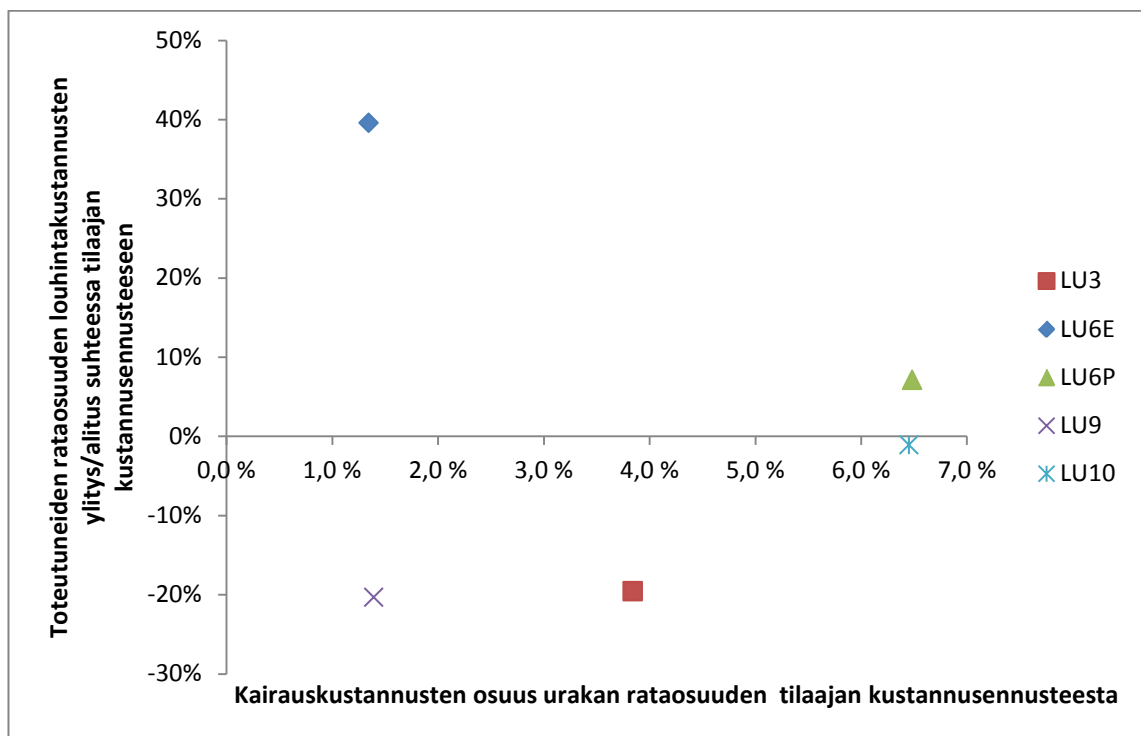
**Kuva 18: Tutkimuskustannusten suhteellinen osuus verrattuna kustannusennusteen poikkeamaan.**

Kuvan 18 perusteella todellakin vaikuttaa, että niiden urakoiden, joissa tutkimuksiin on panostettu enemmän, kustannusennuste on tarkempi. Tulokset ovat samansuuntaiset kuin UNCS/TT (1984) tutkimuksessa saadut. Tutkimuksen (UNCS/TT, 1984) suosituksena on käyttää tutkimuksiin vähintään 3 % arvioituista louhintakustannuksista. Viiden pisteen otanta on kuitenkin niin vähäinen, että päätelmää vahvasta tilastollisesta korrelaatiosta ei voida tehdä. Tutkimuskustannusten ja kustannusennusteen tarkkuuden välistä riippuvuutta tulisi tarkastella huomattavasti useammista urakoista.

### 5.7 Kallionäytekairausten vaikutus kustannusennusteeseen

Kaikkia tarkastelluissa Länsimetron urakoissa suoritettuja kairauksia ei ole esitetty materiaaliksi saadussa tutkimusohjelmaluettelossa. Kuvien ja tutkimusraporttien pohjalta lasketut tutkimusmäärät ovat hieman laskutustaulukon tutkimuksia suuremmat, joten kallionäytekairausten kokonaishinta on uudelleenlaskettu kertomalla kuvien ja kairauspöytäkirjojen perusteella lasketut kairametrit laskutustaulukon antamalla urakkakohtaisilla keskimääräisillä kallionäytekairaushinnoilla. Esimerkiksi LU10 urakassa piirustusten ja kairauspöytäkirjojen perusteella laskettu kairausten määrä yhteispituus on kaksinkertainen verrattuna laskutustaulukon antamaan määrään.

Verrattaessa kairauskustannuksia kustannusennusteen tarkkuuteen (Kuva 19) huomataan, että tarkin rataosuuden kustannusennuste on urakoissa, joissa rataosuudelle suuntautuneet kairauskustannukset ovat suurimmat (LU10, LU6P). Rataosuuden kustannusennusteesta on eroteltu asemat ja kuilut, joten ennuste koskee vain metrotunnelin louhintaan jyvitetäviä varoja. Vastaavasti kairauskustannuksista on poistettu asemien, kuilujen ja ajotunnelin kairaukset.

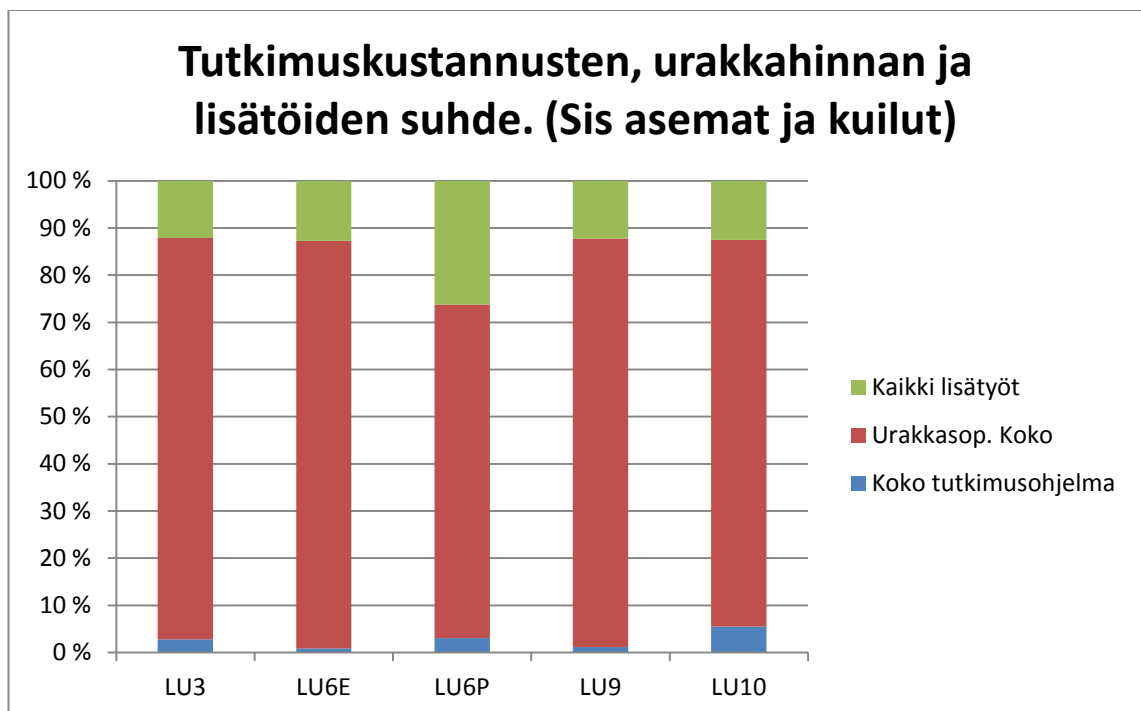


Kuva 19: Kairauskustannusten vaikutus kustannusennusteen tarkkuuteen rataosuuksilla.

## 5.8 Tutkimusten, kalliolaadun ja lisätöistä aiheutuneiden kustannusten suhde tutkituissa urakoissa

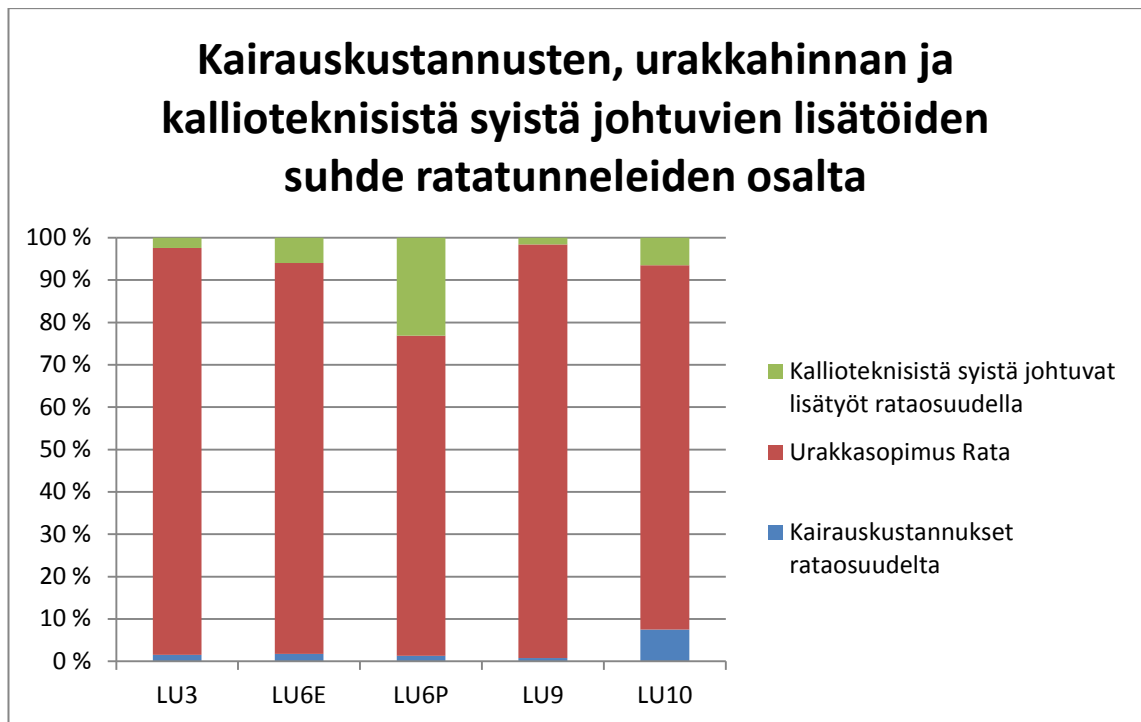
Yksi työn olettamuksista on, että suurempi kallioperätutkimusten määrä kasvattaa urakkahintaa, koska kallion heikkoudet tunnetaan paremmin. Haastattelututkimuksen perusteella urakoitsijat varautuvat aikataulussa, materiaaleissa ja työmäärissä vain niihin heikkousvyöhykkeisiin, jotka on esitetty urakka-asiakirjoissa. Vastaavasti on oletettavaa, että suurempi tutkimusmäärä tarkoittaa vähentyneitä yllättävän huonosta kalliolaadusta johtuvia lisätyökustannuksia.

Urakoiden tutkimuskustannuksia, kokonaislouhintakustannuksia ja lisätöitä verrattaessa (Kuva 20) huomataan, että lisätöiden osuus on melko vakio, lukuun ottamatta LU6P urakkaa, jossa kohdattiin suuria kallioteknisiä ongelmia. Lisätöiden osuus muissa urakoissa näiden kolmen kokonaissummasta on noin 12 %. Kun verrataan toteutuneita lisätyökustannuksia urakkasopimukseen, on suuruus urakoissa LU3, LU6E, LU9 ja LU10 14–15 %. LU6P urakassa lisätöiden kustannus on 37 % suhteessa urakkasopimukseen. Tutkimuskustannuksilla ei tunnu olevan lainkaan vaikutusta laskutettujen lisätöiden määrään.



Kuva 20: Koko urakan tutkimuskustannusten, urakkasopimuksen ja laskutettujen lisätöiden suhde.

Pelkän metrotunnelin kustannuksia verrattaessa (Kuva 21) ei tutkituissa urakoissa myöskään huomata yhteyttä kairauskustannusten, urakkasopimuksen ja kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden kustannusten välillä. Vaikka tutkittavien urakoiden määrä on vähäinen, vaikuttaa siltä, että tutkimusmäärillä ei ole selkeää vaikutusta lisätöihin. Kuitenkin koko urakkaa tarkasteltaessa lisätöiden osuus on todella samankaltainen.



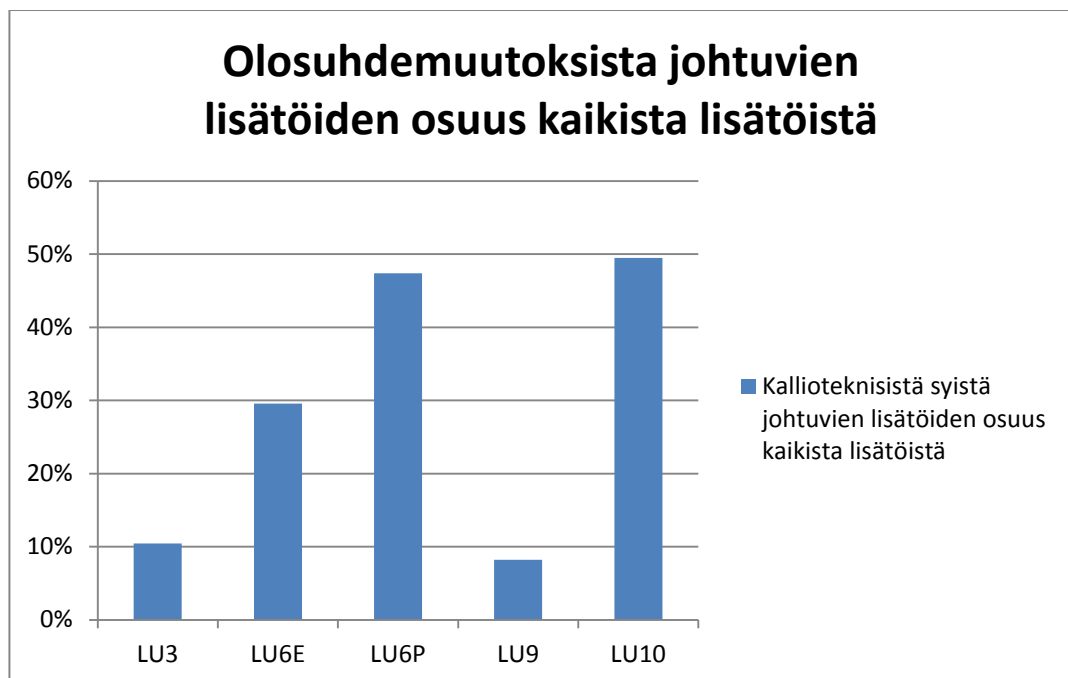
**Kuva 21: Kairauskustannusten, metrotunnelin urakkasopimuksen ja kallioteknisistä syistä aiheutuneiden lisätöiden suhde.**

## 5.9 Lisätöiden kustannusten jakautuminen

Lisätöitä aiheutuu urakoissa monista syistä. Tutkituissa Länsimetron urakoissa lisätyövaateen aiheuttavat tekijät on jaoteltu seuraavasti (Länsimetro, 2014b):

- Laajuusmuutos
- Olosuhdetekijä (kalliotekninen)
- Suunnitelmista johtuva muutos
- Muu syy (esimerkiksi kolmannen osapuolen aiheuttamat vaateet)

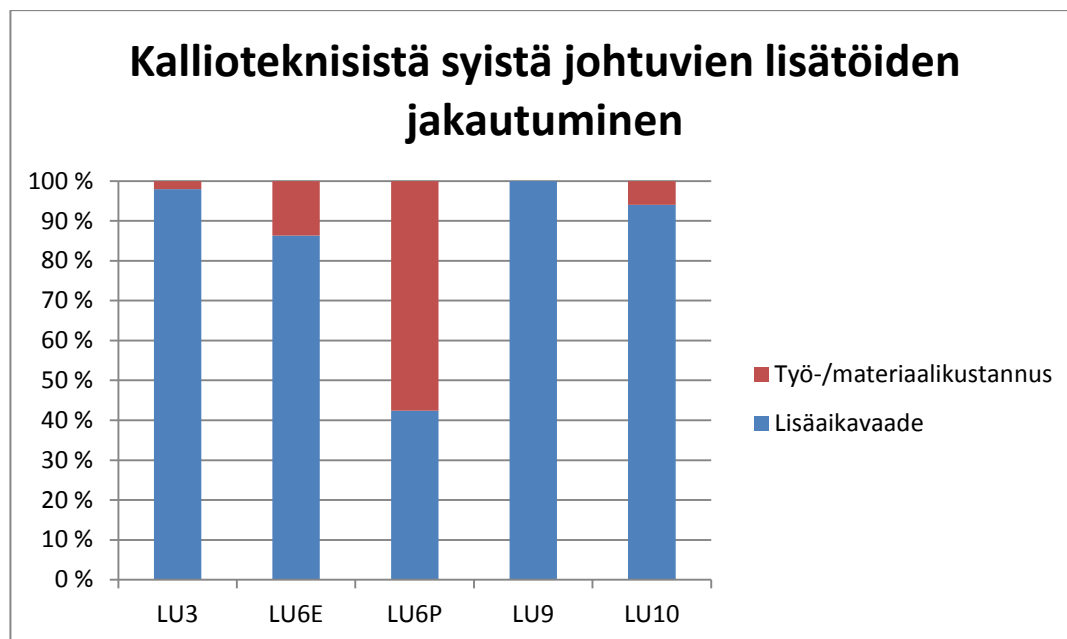
Tutkituissa urakoissa kallioteknisen olosuhdetekijän aiheuttamat lisätyövaatteet ovat keskimäärin 29 % eli noin kolmasosa lisätöistä. Kuva 22 esittää kalliolaadun poikkeamista johtuvien lisätöiden osuudet kaikista lisätöistä urakoittain.



Kuva 22: Kalliolaadun poikkeamista johtuvien lisätöiden osuus kaikista lisätöistä on tutkituissa urakoissa keskimäärin 29 %.

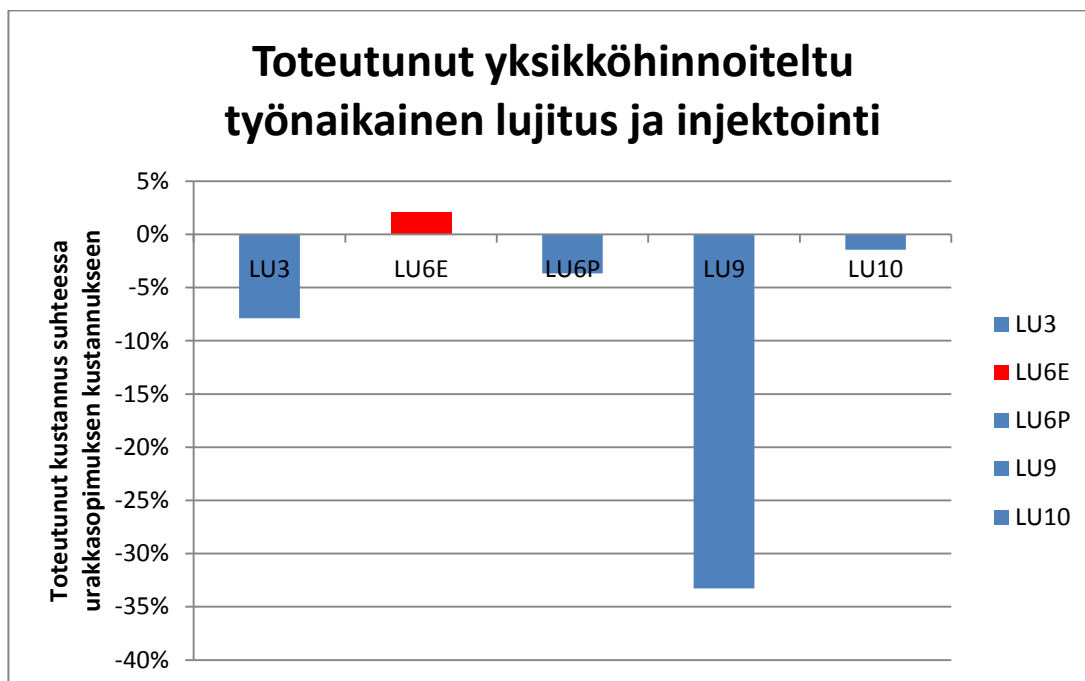
Haastatteluissa urakoitsijat korostivat, että lisätöiden materiaalikustannukset ovat mitättömiä verrattuna aiheutuneeseen aikasidonnaiseen kustannukseen. Kuvassa 23 esitetään kuinka suuren osa aikataulun pidentymisen aiheuttamat kustannukset aiheuttavat kallioteknisistä syistä. LU6P urakkaa lukuun ottamatta lisäajan kustannus on kussakin urakassa noin 90 %. Toinen osa koostuu materiaali-, resurssi-, ja työkustannuksista. LU6P:n kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden kustannusjakaumaa selittää hankkeen aikana kohdattu heikkousvyöhyke, joka johti ajotunnelin pidentämiseen, sekä erittäin massiivisiin lujitustöihin metrotunnelissa. Aseman itäpäädyn metrotunneliin tehtiin lyhyelle matkalle kallis betoninen lujitusrakenne, jollaista ei käytetä normaalisti lujittamiseen.





**Kuva 23:** Kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden jakautuminen. Lisätyöt sisältävät myös aseman ja kuilujen lisätyöt, joita ei ollut mahdollista eritellä.

Vertailun vuoksi kuvassa 24 esitetään kuinka lähelle urakkasopimuksessa määriteltyä summaa työnaikaiset lujitus- ja injektointityöt osuvat. Lähes kaikissa urakoissa työnaikaisten lujitus- ja injektointitöiden kokonaissumma on jäänyt alle sopimuksessa varattua summaa. Tästä huolimatta kussakin urakassa on tehty lisäaikavaateita kalliolaadun poikkeamaan vedoten.



**Kuva 24:** Tutkituissa urakoissa työnaikaiseen lujitukseen ja injektointiin varattu rahamäärä ylittyi vain LU6E urakassa.

## 6 Päätelmiä tutkitun aineiston pohjalta

Kuten todettu, kallioperätutkimukset tulisi aina ohjelmoida toteutettavan hankkeen perusteella ja kunkin urakka-alueen kallioperän mukaisesti. Työssä esitetään aiemmissa tutkimuksissa suositeltuja tutkimusmääriä ja Länsimetron urakoissa suoritettuja tutkimusmääriä. Näitä tutkimusmääriä voidaan käyttää pohjana arvioitaessa tarvittavia tutkimusmääriä tuleviin tunnelien louhintaurakoihin. Yleispätevää suositusta tarvittavasta kallioperätutkimusten määrästä, joka kattaisi kaikki tulevaisuuden kalliorakennushankkeet, ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä.

Kappaleissa 5.4 ja 5.5.1 todetaan, että muutoksilla ja lisätöillä vaikuttaa olevan yhteys. Kuitenkaan tutkitussa aineistossa kallioperätutkimuksilla ei ole vaikutusta havaittujen muutosten määrään, eikä laskutettujen kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden määrään. Hypoteesin mukaan tutkimuksilla pitäisi kuitenkin pystyä vaikuttamaan havaittavien muutosten määrään. Hypoteesin ja tulosten välistä ristiriitaa voidaan jonkin verran selittää sillä, että

- kussakin urakassa eri suunnittelija on tehnyt etukäteisarvion kalliolaadusta
- kussakin urakassa eri suunnittelija on tehnyt urakkalaskennan suunnitelmat
- kussakin urakassa on ollut hieman toisistaan poikkeavat menetelmät tehdä suunnitelmia ja havainnoida, sekä dokumentoida poikkeamat kalliolaadussa.

Kappaleessa 3.3.1 esitettiin aiemman tutkimuksen tuloksia (Malmtorp & Lundman, 2010), joiden mukaan yksilöiden tulkinnalla on suuri vaikutus arvioitaessa kalliolaatua. Tässä työssä kalliolaadun muutoksia on tarkasteltu keskenään samoista lähtökohdista. Kuitenkin tarkasteltaessa kalliolaadun muutosta, jossa sekä alkuperäiseen ennusteeseen, että lopullisen kalliolaadun arviointiin vaikuttaa vahvasti tulkitsijan tapa suorittaa arviota, voidaan todeta, että suora keskinäinen vertailu ei johda täysin luotettaviin tuloksiin.

Kuten kappaleessa 5.5 osoitetaan, kalliolaatu voi poiketa sekä parempaan, että huonompaan suuntaan ennusteesta. Vaikka poikkeamista suurin osa tapahtui huonompaan suuntaan, ylitettiin yksikköhinnoitellut työnaikaiset lujitus- ja injektointimäärät vain yhdessä urakassa. Edellä mainituista huomioista voidaan tehdä seuraavanlaisia johtopäätöksiä:

- Kalliolaadun poikkeaminen ennusteesta molempiin suuntiin tasaa yksikköhintoihin laskettuja lujitus- ja injektointimääriä, vaikka suurin osa poikkeamista tapahtuukin huonompaan suuntaan.
- Kalliolaadun poikkeama huonompaan on hankkeen aikataulun kannalta merkitsevämpää, kuin poikkeaminen parempaan suuntaan.
- Kallioteknisistä lisätöistä johtuvien lisäkustannusten suurin osa syntyy aikasidonnoisista kustannuksista.

Kallioperätutkimuksiin sijoitetulla rahamäärällä on tarkentava vaikutus tilaajan omaan kustannusennusteeseen. Tämä tarkoittaa, että tilaaja on pystynyt hankkeissa sitä paremmin varautumaan todellisten töiden laajuuteen ja yllätyksiin, mitä enemmän hankkeen tutkimuksiin on sijoitettu. Kustannusarvioon sisältyy arvio hankkeen aikana syntyvistä lisätöistä, joka perustuu tilaajan tuntemukseen hankkeen riskeistä. Se, että kalliolaadun poikkeamien määrää ei etukäteen tiedetä, johtaa siihen että kallioteknisistä syistä johtuvia lisätöitä ei pystytä ennustamaan.

Tutkittuihin urakoihin syntyi keskimäärin noin 19 % lisätöitä, joista keskimäärin kolmasosa johtuu poikkeavista kallioperän olosuhteista. Tämä tarkoittaa, että keskimäärin tutkituissa urakoissa on kallioperätutkimuksilla pystytty vaikuttamaan noin 6 % kustannuksista. Tiedetään, että tutkimusten kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa, eli noin 1-6 % kustannuksista. Täten voidaan todeta, että tutkimusten tärkein tehtävä tilaajan kustannuksia ajatellen on pienentää riskiä siitä, että louhinnan aikana kohdataan täysin ennakoimaton ja kustannuksia hallitsemattoman paljon nostava heikkousvyöhyke. Tässä työssä tutkituista hankkeista yhdessä kohdattiin tällainen täysin ennakoimaton heikkousvyöhyke, jonka seurauksena urakan kokonaislisätyö-kustannukset olivat suuruudeltaan 37 % urakkahinnasta. Tästä summasta 47 % johtuu kalliolaadun poikkeamasta. Oikein suunnatuilla tutkimuksilla urakassa olisi pystytty arvioimaan heikkousvyöhykkeen sijainti etukäteen, muuttamaan suunnitelmia sen mukaisesti, ja välttämään 17 % lisäkustannukset, jotka aiheutuivat yllättävän heikosta kalliolaadusta.

Edellä mainittujen tietojen valossa olisi ensiarvoisen tärkeää pyrkiä hyödyntämään tutkimuksista saatu tieto niin, että tilaajan ymmärtämät epävarmuudet pystytään ilmaisemaan konkreettisesti asiakirjoissa, jolloin kaikki urakoitsijat joutuvat ottamaan ne huomioon tarjoustaan tehdessään. Lisäksi tutkimuksia tulisi suorittaa satunnaisesti myös alueilla, joiden kalliolaatua ei oleteta jo valmiiksi huonoksi. Näin saataisiin pienennettyä riskiä kohdata suuria ennalta tiedostamattomia heikkousvyöhykkeitä.

Tutkimusten lisäksi olisi syytä kiinnittää huomiota tunnelihankkeiden lisätöihin. Laskutettujen lisätöiden määrä urakkahintaan verrattuna oli urakoissa hämmästyttävän yhtenäinen. Taloudellisia loppuselvityksiä tulisi tarkastella ja verrata aiheutuuko todellakin kaikissa hankkeissa lisätöitä sen verran, että niiden yhteiskustannus on noin 15 % urakkahinnasta. Tässä työssä tarkasteltujen urakoiden perusteella vaikuttaa siltä, että kyseessä on järjestelmällinen keino kompensoida tarjouskilpailussa tarjotun hinnan alhaisuutta, ja tehdä urakasta kannattavampi.

Työn aikana syntyneistä lisätöiden aiheuttamista kustannuksista keskimäärin 29 % voidaan laskea kalliolaadun poikkeamista johtuviksi. Poikkeamista johtuvista kustannuksista oli kuitenkin nähtävissä, että suurin osa syntyy lisätöiden aikatauluvaikutuksesta, eikä materiaali- /työkustannuksista. Lähes kolmannes lisätöistä aiheutuu kalliolaadun poikkeamista aiheutuvien työaikaisten lujitusten aiheuttamasta aikataulun pidentymisestä. Tulevaisuuden hankkeissa tulisikin kiinnittää huomiota siihen, että lähtötiedot urakkalaskentavaiheessa ovat sen verran hyvät, ettei kalliolaadun poikkeamista aiheudu hankkeen kokonaisaikataulua pidentävää haittaa.

Haastatellut urakoitsijat totesivat, että nykyisin toteutettavissa kalliorakennushankkeissa toimitettavat urakka-asiakirjat ovat pääosin hyvin laadittuja. Aikataulutuksen kannalta erityisen tärkeää on, että tilaaja toimittaa mahdollisimman kattavan yhteenvedon kallioperän laadusta. Selkeästi laaditut, koko hankkeen kattavat asiakirjat ovat eduksi sekä tilaajalle, että urakoitsijalle. Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden tulisi miettiä yhdessä keinoja, miten heikkousvyöhykkeiden esittäminen tulisi tehdä, että urakoitsijat pystyvät arvioimaan hankkeen aikataulun mahdollisimman tarkasti.

Tätä työtä tehdessä joidenkin lähtötietojen saaminen oli hankalaa. Vaikutti, että hankkeiden eri osapuolet eivät halua luovuttaa varsinkaan kustannustietoja. Jotta kallioperätutkimusten vaikutuksia hankkeisiin pystyttäisiin analysoimaan tilastollisesti merkittävällä tavalla, tulisi hankkeiden kustannusselvitykset yleisesti saattaa myös

tilaaja- ja rakennuttajaorganisaatioiden ulkopuolella saataviksi. Kustannustiedon lisäksi kalliin ennustettuja olosuhteita ja todettuja olosuhteita pitäisi aktiivisesti vertailla. Jatkossa suoritettavista hankkeista voitaisiin tällöin kerätä tietokantaa, jota voitaisiin käyttää suunnittelun ja rakennuttamisen tukena.

## 7 Johtopäätökset

Kallioperätutkimusten vaikutus louhintaurakan kokonaiskustannuksiin on vähäinen hankkeessa, jonka alueella ei sijaitse merkittävää heikkousvyöhykettä odottamattomassa paikassa. Kuitenkin kallioperätutkimusten suorittaminen pienentää riskiä kohdata hankealueella heikkousvyöhyke, joka vaikuttaa pidentävästi louhinnan aikatauluun aiheuttaen merkittäviä lisäkustannuksia. Kallioperätutkimuksia ohjelmoitaessa tulisikin kiinnittää huomiota siihen, että tutkimuksilla

- pienennetään riskiä kohdata louhinnan aikana aikataulu- ja kustannusvaikutuksiltaan merkittävä odottamaton olosuhde
- pystytään antamaan mahdollisimman realistinen kuva vallitsevista olosuhteista ja esittämään se urakalaskenta-aineistossa niin, että aikatauluun vaikuttavat tekijät olisivat nähtävissä mahdollisimman kattavasti

Kallioperätutkimuksien tarvittava määrä on hankekohtainen, ja siihen vaikuttavia tekijöitä on paljon, mm. tilan lopullinen käyttötarkoitus, sijainti, ympäristö ja hankkeen reunaehdot. Tutkittujen urakoiden perusteella voidaan todeta, että kallioperätutkimusten tekeminen parantaa tunnelinlouhintaurakan kustannusten ennustettavuutta. Kuitenkaan kallioperätutkimusten määrällä ei ole suoraa vaikutusta havaittuihin kalliolaadun poikkeamiin, eikä hankkeessa aiheutuvien kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden aiheuttamiin kustannuksiin. Kalliolaadun poikkeamien määrällä on kallioteknisistä syistä johtuvien lisätöiden aiheuttamia kustannuksia kasvattava vaikutus. Tutkimuksista saataisiin suurempi hyöty, jos tutkimuksia lisäämällä pystytään tarkentamaan ennustetta vastaamaan paremmin todellista tilannetta

Kallioperäolosuhteiden poikkeamista aiheutuvien lisätöiden aikatauluvaikutus on kustannusten kannalta huomattavasti merkitsevämpää, kuin aiheutuvat materiaalikustannukset. Ylimääräisiä materiaalikustannuksia ei välttämättä synny lainkaan, koska osassa tunnelia voidaan tunnelia lujittaa ja injektoida ennustettua vähemmän, joka tasoittaa toisessa osassa tunnelia tarvittut lisälujitukset. Lisäkustannukset syntyvät, kun odottamattomia työaika- ja työvoimavaihteluita ei ole huomioitu urakalaskennassa, ja työmaata joudutaan ylläpitämään, kun odotellaan työaikaisten lujitus- tai injektointitöiden valmistumista.

Hankkeiden tutkimusmäärien riittävyyttä on hankala arvioida jälkikäteen. Tämän mahdollistamiseksi tulisi tulevaisuuden kalliorakennushankkeissa aktiivisesti tilastoida tutkimusmääriä, ennakoitua kalliolaatua ja toteutunutta kalliolaatua. Yhtenäisesti tilastoituna näiden muutosten vaikutusta hankkeeseen pystytään arvioimaan, jolloin poikkeaman riskiä olisi mahdollista arvioida. Jotta hankkeita voitaisiin vertailla tällä tavoin, tulisi tilaajien vaatia etukäteen ja jälkikäteen tehtäviä kalliolaatukarttoja hankealueelta harmonisoidussa formaatissa, sekä tilastoida hankkeen suunnitteluvaiheessa hyödynnetyt tutkimukset.

Tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että muuttujien yhteyksiä vertailtaessa on käytettävissä ollut viisi tutkimuspistettä. Analyysiin soveltuvan lähtöaineiston vähäinen määrä tarkoittaa, että korrelaatioita ei voida pitää tilastollisesti merkittävänä.

## Lähdeluettelo

### *Kirjalliset lähteet*

Clayton, C.R.I., Simons, N.E. & Matthews, M.C. 1982, *Site investigation*, Granada, London. 489 s. ISBN 978-0632029082

Halabi, F. 2011. Utvärdering av förstärkningskostnader med hänsyn till geologisk osäkerhet och bergklasser. Examensarbete. Stockholm. Kungliga Tekniska Högskolan. 74 s. ISSN 1652-599X

Hall, P. 1980. *Great Planning Disasters*. University of California Press, 329 s. ISBN 520-04602-1

Hsieh, T., Lu, S. & Wu, C. 2004. *Statistical analysis of causes for change orders in metropolitan public works*. International Journal of Project Management 22 (2004) s. 679-686. ISSN 0263-7863

Kim, Y. & Bruland, A. 2009. *Effect of rock mass quality on construction time in a road tunnel*. Tunneling and Underground Space Technology 24 (2009) s. 584-591. ISSN: 0886-7798

Lundman, P. 2011. *Cost Management for Underground Infrastructure Projects: A Case Study on Cost Increase and its Causes*. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. 130 s. ISBN 978-91-7439-217-3

MTR (Maanalaisten tilojen rakentamisydistys), 1988. *Kalliorakentamisen mahdollisuudet*. Gummerus Oy. Jyväskylä. 207 s. ISBN-951-754-373-5

Malmtorp, J., & Lundman, P. 2010. *Förundersökningar vid undermarksprojekt – Osäkerhetet och deras hantering*. Stockholm, Trafikverket. 83 s. ISBN 978-91-7467-006-6

Mikkola, J. 2005. *Nykyaikainen kalliomekaaninen suunnittelu kalliorakennushankkeen riskienhallinnassa*. Teoksessa: toim. Koskenvesa, A. et al. *Rakentajain kalenteri 2005*. 89. vuosikerta. Helsinki, Rakennustieto Oy. s. 425-430. ISSN 0355-550-X

Panthi, K., & Bjørn, N. 2007. *Predicted versus actual rock mass conditions: a review of four tunnel projects in Nepal Himalaya*. Tunneling and Underground Space Technology 22 (2007) s. 173-184. ISSN: 0886-7798

Pohjanperä, P. 2004. *Kallioperätutkimukset maanalaisten tilojen louhittavuuden arvioinnissa*. Tutkimusraportti. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. 92 s. ISBN 951-22-7366-7

Raudasmaa, P., 1987. *6.1 Yleistä*. Teoksessa: toim. Saanio, V. et al. *RIL 154-1 Tunneli- ja kalliorakennus I*, Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. s. 135-138. ISBN 951-758-115-7

RT 16-10660, 1998. *Rakennusurakan yleiset sopimusehdot*. YSE 1998

RIL. 1987. *Tunneli- ja kalliorakennus 1*, RIL, Hki. 363 s. ISBN 951-758-115-7

Salmelainen, J. 2008. *Kalliorakennuskohteen tutkimus ja tulosten hyödyntäminen*. Luentomoniste kurssilla Mak-32.122 Kalliorakennustekniikka. 15.10.2008. Teknillinen korkeakoulu. 10 s.

Syrjänen, P. & Loven, P. 1999. *Kalliomekaaninen 3D-mallinnus*. Kalliomekaniikan päivät 1999.

SGY, toim. Gardemeister, R., Heimonen, M., Kähönen, Y., Sallinen, P., Tuisku, T., Patrikainen, P. 1979. *Rakennusalan kalliotutkimusohjeet 1979 : RKO-79*. Helsinki, Suomen geoteknillinen yhdistys. 54 s.

Teikari, M. 2009. *Kalliolaadun vaikutus tunnelin tuotantoprosessiin ja kustannuksiin*. Diplomityö. Espoo, Teknillinen Korkeakoulu. 72 s.

Teknologiavdelningen, 2003. Publikasjon nr. 101: *Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg*. Oslo: Statens vegvesen. (Norwegian Public Roads). 137 s. ISSN 0803-6950

USNC/TT. 1984. *Geotechnical Site Investigations for Underground Projects: Volume 1 Overview of Practices and Legal Issues, Evaluation of Cases, Conclusions and recommendations*. Washington D.C., National Academy Press. 196 s. ISBN 978-0-309-07782-8

Vuolio, R., & Halonen, T. 2010. *Räjäytystyöt*. Helsinki, Suomen Rakennusmedia Oy 442s. ISBN 978-952-5785-34-0

## ***Tiedonannot ja haastattelut***

Hautalahti, P. 2014. Kirjallinen tiedonanto 20.5.2014

Huttunen, M. & Saari, H. 2014. Haastattelu 28.3.2014

Palmu, T. 2014. Kirjallinen tiedonanto 5.6.2014

Satola, I. & Niinimaa, R. 2014, Haastattelu 25.06.2014

Urakoitsija 1, 2014. Haastattelu 15.4.2014

Urakoitsija 2, 2014. Haastattelu 22.5.2014

Urakoitsija 3, 2014. Haastattelu 17.6.2014

## **Sähköiset lähteet**

HSY, 2014. *Leppävaaran vesihuoltotunneli*, [[http://www.hsy.fi/vesi/vesihuoltoverkostot/lansi\\_espoo/hankkeen\\_eteneminen/leppavaaran\\_vesihuoltotunneli/Sivut/default.aspx](http://www.hsy.fi/vesi/vesihuoltoverkostot/lansi_espoo/hankkeen_eteneminen/leppavaaran_vesihuoltotunneli/Sivut/default.aspx)], viitattu 4.8.2014

Länsimetro, 2008. *Hankesuunnitelma*, [[http://www.lansimetro.fi/images/stories/hankesuunnitelman\\_selostus\\_140308\\_ed0804.pdf](http://www.lansimetro.fi/images/stories/hankesuunnitelman_selostus_140308_ed0804.pdf)], viitattu 10.4.2014

Länsimetro, 2014a. *Länsimetron rakentaminen etenee - liikennöinnin aloittaminen siirtymässä syksyyn 2016*, [<http://www.lansimetro.fi/component/content/930/2>], viitattu 8.8.2014

Länsimetro, 2014b. *Taloudelliset loppuselvitykset urakoista LU3, LU6E, LU6P, LU9 ja LU10*. Ei-julkisia asiakirjoja.

Länsimetro, 2014c. *Länsimetron tutkimusten koontitaulukko*. Ei-julkinen asiakirja.

Länsimetro, 2014d, *Länsimetro hankkeen urakkalaskenta- ja toteutusvaiheen suunnitelmat*. Ei-julkisia asiakirjoja.

Parker, H.W., 2004. *Planning and site investigation in tunnelling*. Seminaarijulkaisu 1<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas. Seminário Internacional South American Tunnelling. Sao Paulo. Saatavissa [<http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc547/lecture-material/Parker-TunnelSiteInvestigation.pdf>], viitattu 26.7.2014



## **Liitteet**

### **Liite 1. Haastattelukysymykset**

Alla on esitetty kysymykset, joita käytettiin runkona urakoitsijoiden haastatteluissa.

#### **Peruskysymykset**

1. Mikä on toimesi yrityksessä?
2. Mitä toimenkuvaasi kuuluu?
3. Monta vuotta olet ollut toimessasi?

#### **Yleisiä kysymyksiä tarjouslaskennasta**

4. Mikä on tarjouslaskennan tavoite?
5. Kuinka tarjouslaskennan prosessi kallionrakennuskohteissa toimii? (Kuinka urakalaskenta tehdään?)
  - 5.1. Mitä käytetään pohjatietoina tarjouslaskennalle?
  - 5.2. Mitä asioita tarjouslaskennassa huomioidaan?
  - 5.3. Kuinka monen hengen voimin tarjoukset lasketaan?
  - 5.4. Kuka on päävastuussa tarjouslaskennasta ja siitä, että se vastaa urakka-asiakirjoja?
6. Minkälaisia kallionrakennuskohteita yleensä lasket?
7. Kuinka pitkään tarjouslaskenta peruskohteelle kestää/paljon aikaa on käytettävissä?
  - 7.1. Voiko tätä suhteuttaa jotenkin urakan kokoon tms.?
  - 7.2. Onko ajan määrällä vaikutusta laskentaprosessiin?
8. Mitkä ovat määrittävimmät tekijät tarjouslaskennan kokonaishinnan kannalta?
9. Mitä tarjousasiakirjoihin yleensä sisältyy?
10. Mitä tarjousasiakirjoihin tulisi sisältyä, jotta kustannusennuste saataisiin mahdollisimman tarkaksi?
11. Määrittele seuraavien tekijöiden merkittävyys tarjouslaskennan kannalta (miten ja kuinka paljon vaikuttaa hintaan):
  - 11.1. kohteen haastavuus
  - 11.2. ruiskubetonointi
  - 11.3. pultitus
  - 11.4. injektointi
  - 11.5. muita? mitä?

#### **Kallioperätutkimusten vaikutus tarjouslaskentaan**

12. Kuinka kallioperätutkimukset vaikuttavat tarjouslaskentaan?
  - 12.1. Esimerkiksi Kohteeseen on tehty paljon tutkimuksia ja on todettu, että kallio on huonoa. Miten vaikuttaa?
  - 12.2. Kohteeseen ei ole tehty lainkaan kairauksia vaan pelkkä geologinen pintakartoitus. Tiedetään, että kohteen kallioperässä on paljon epävarmuuksia. Kuinka tämä vaikuttaa hintaan?
  - 12.3. Mitä kallioperäteknisiä asiakirjoja tarjoukseen tyypillisesti päätyy?
  - 12.4. Onko urakoitsijalla pääsy kaikkeen tilaajan antamaan materiaaliin?
13. Miten Urakoitsija kokee ennakkotutkimusten tarpeellisuuden?

14. Päätyykö tarjouslaskijalle tieto siitä, kuinka todennäköisesti ennustettu kalliolaatu pitää paikkansa?
15. Pitäisikö kallioperätutkimuksia/niiden puutetta huomioida enemmän?
16. Mikä vaikutus paremmin tutkitulla urakkalaskenta-aineistolla on urakoitsijan kannalta?
17. Onko urakoitsijalle mielestäsi enemmän hyötyä vai haittaa, että kalliorakennusurakoissa on usein määrittelemätön määrä lisätöitä, jotka johtuvat yllättävän huonon kallioperän aiheuttamista ongelmista? Miksi?
18. Kuinka tilanteen voisi korjata, (jos korjattavaa mielestäsi on)?

### **Hinnoitteluperusteet**

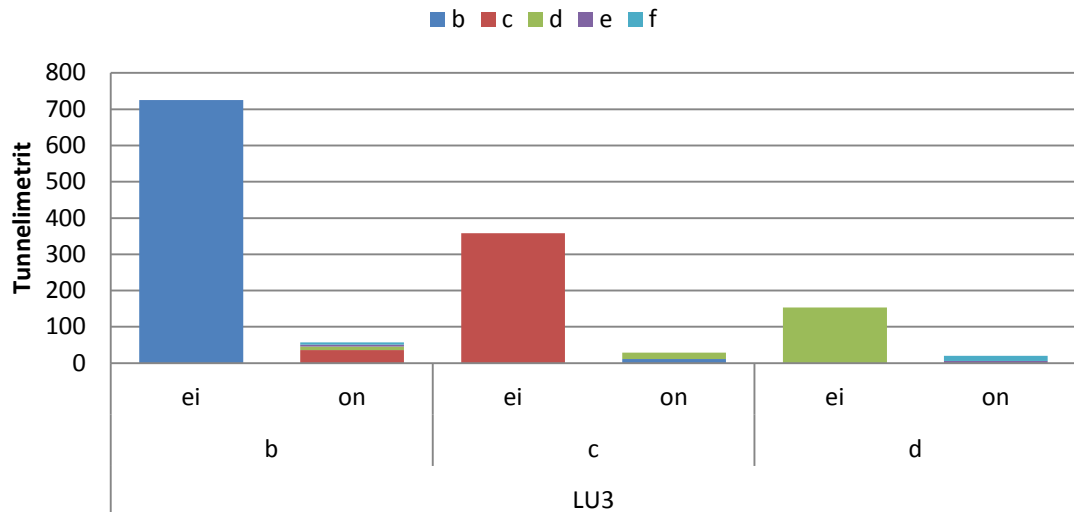
19. Miten yksikköhinnat rakentuvat tarjouslaskennassa?
20. Kuinka kallioperätutkimukset vaikuttavat yksikköhintoihin?
21. Mitkä seuraavat tekijät vaikuttavat hinnoitteluun ja millä tavalla?
  - 21.1. tilaajan ja urakoitsijan väliset suhteet (kokemus yhteisistä projekteista aiemmin)
  - 21.2. kansantaloudellinen tilanne
  - 21.3. urakoitsijan työllistyneisyys laskennan hetkellä
  - 21.4. alan työllistyneisyys laskennan hetkellä
  - 21.5. projektin laajuus
  - 21.6. sijainti (kaupunkialue vs. haja-asutus)
  - 21.7. epävarmuustekijät urakan laajuuden määrittelyssä
  - 21.8. muita?
22. Kuinka paljon (prosentteina) hinnoissa on voittoa (laskennallisesti)?
23. Voisitko antaa esimerkkejä tarjouslaskennassa käytettävistä yksikköhinnoista? (Nämä tiedot eivät päädy sellaisenaan eteenpäin)

### **Tarjouslaskennan paikkansapitävyys.**

24. Mikä on yrityksenne tavoite urakkalaskennan tarkkuudesta?
25. Koetko, että tarjouslaskenta poikkeaa usein suuresti toteutuneesta työstä? Miksi?
26. Varautuuko urakoitsija strategisesti tekemään ja laskuttamaan lisätöitä, jos tiedostaa, että sopimuksen ulkopuolelta tulee olemaan töitä?
27. Pyrkiikö urakoitsija tietoisesti tekemään töitä, jotka eivät kuulu urakkaan, ja laskuttamaan näitä lisätöinä?
  - 27.1. lujitus- ja tiivistystyöt
28. Mitkä tekijät muuttuvat tarjouslaskennasta eniten, kun verrataan tarjousta ja lopullista toteutunutta urakkaa?
29. Mitkä seuraavista aiheuttavat eniten lisäkustannuksia/muutoksia urakoihin, kuinka paljon?
  - 29.1. ruiskubetonointi
  - 29.2. pultitus
  - 29.3. injektointi
  - 29.4. muita? mitä?
30. Mikä aiheuttaa, että kyseiset tekijät muuttuvat eniten?

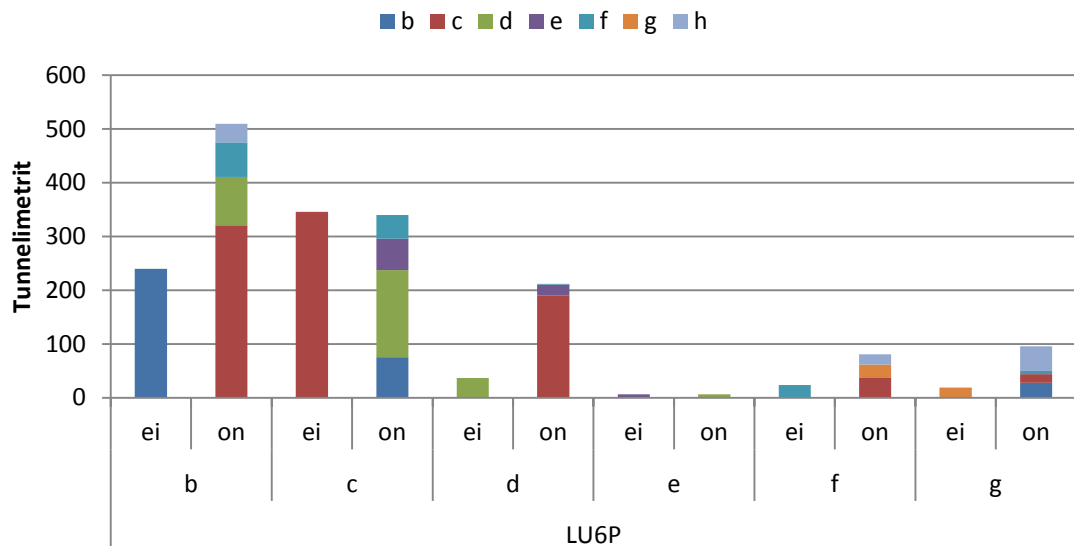
## Liite 2. Lujitusluokkien muutokset tutkituissa urakoissa urakkakohtaisesti.

### Lujitusluokkien muutokset LU3



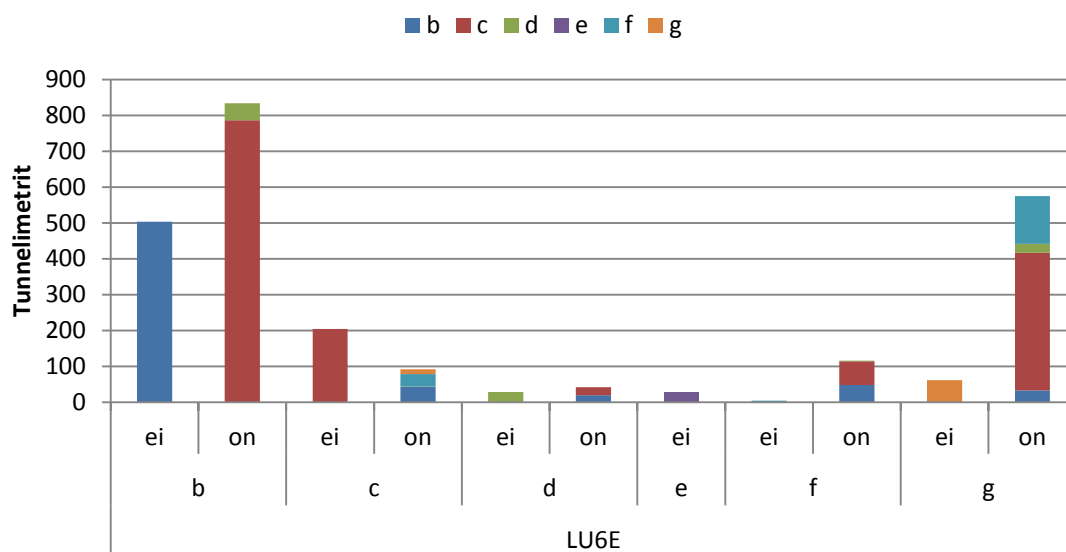
Urakkalaskentavaiheessa määritettyjen lujitusluokkien muutokset  
 ei = toteutunut lujitusluokka sama kuin urakkalaskentavaiheessa  
 on = toteutunut lujitusluokka eri kuin urakkalaskentavaiheessa

### Lujitusluokkien muutokset LU6P



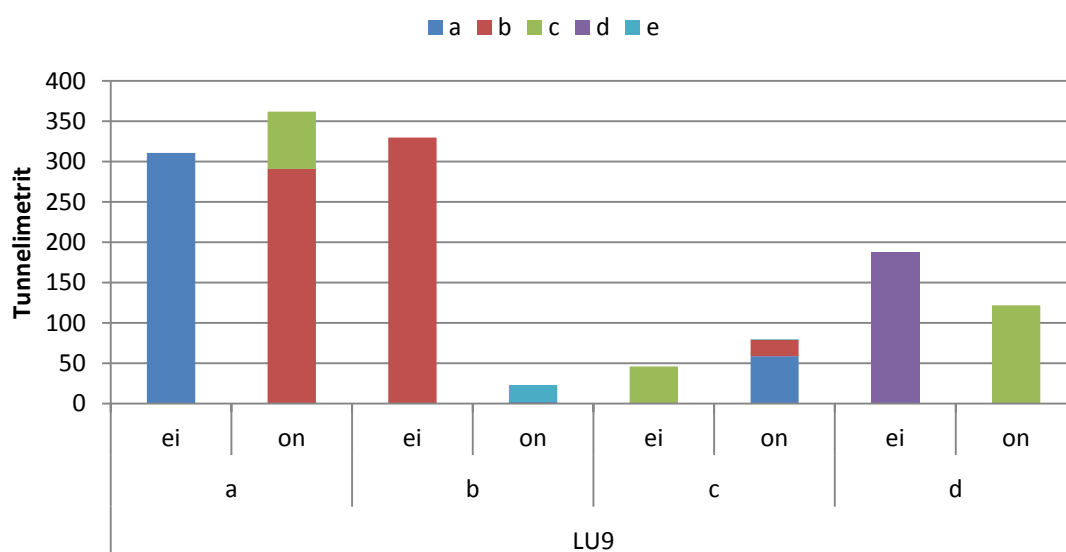
Urakkalaskentavaiheessa määritettyjen lujitusluokkien muutokset  
 ei = toteutunut lujitusluokka sama kuin urakkalaskentavaiheessa  
 on = toteutunut lujitusluokka eri kuin urakkalaskentavaiheessa

## Lujitusluokkien muutokset LU6E



Urakkalaskentavaiheessa määritettyjen lujitusluokkien muutokset  
 ei = toteutunut lujitusluokka sama kuin urakkalaskentavaiheessa  
 on = toteutunut lujitusluokka eri kuin urakkalaskentavaiheessa

## Lujitusluokkien muutokset LU9



Urakkalaskentavaiheessa määritettyjen lujitusluokkien muutokset  
 ei = toteutunut lujitusluokka sama kuin urakkalaskentavaiheessa  
 on = toteutunut lujitusluokka eri kuin urakkalaskentavaiheessa

